



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



ZAVRŠNI RAD

Denis Piljek

0035177777

Zagreb, 2013.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Student:

Denis Piljek

0035177777

Zagreb, 2013.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Denis Piljek**

Mat. br.: 0035177777

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mjereni rezultati rada dizalice topline povezane s tlom pri kontinuiranom radu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Measured results during continuous ground source heat pump operation**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati osnovne karakteristike dizalica topline povezanih s tlom (podzemne vode i tlo kao izvorom topline). Navesti njihove specifičnosti, te mogućnosti primjene.

Na ispitnoj dizalici topline tlo-zrak s vertikalnim bušotinskim izmjenjivačem topline, instaliranoj u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje, napraviti mjerenja. Mjerenja je potrebno provesti za kontinuirani višednevni rad uređaja, uz praćenje temperature tla duž bušotine. Uređaj držati u radu sve do početka zamrzavanja tla duž bušotinskog izmjenjivača topline i bentonitne ispune.

Rad treba sadržavati:

1. Osnovne karakteristike ljevokretnih ogrjevnih procesa.
2. Analizu rezultata mjerenja dizalice topline pri kontinuiranom radu.
3. Dispozicijski crtež dizalice topline.
4. Shemu spajanja i automatske regulacije uređaja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Zadatak zadao:

V. Soldo

Dr.sc. Vladimir Soldo, izv.prof.

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:

Igor Balen

Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno, služeći se znanjem stečenim tijekom studija i koristeći navedenu literature.

Ovom prilikom bih želio zahvaliti:

Voditelju rada prof. dr. sc. Vladimiru Soldi na stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade završnog rada.

Posebno bih želio zahvaliti svojoj obitelji – roditeljima Vjekoslavu i Tatjani, te sestri Ines na razumijevanju, potpori i pomoći kako tijekom izrade ovog rada, tako i tijekom cijelog studija.

Također zahvaljujem svojim kolegama i prijateljima, a posebno prijateljicama Lei, Maji i Moniki, na potpori i pomoći tijekom svih ovih godina studiranja.

SAŽETAK:

U radu je bilo potrebno navesti osnovne karakteristike dizalica topline povezanih s tlom, pokazati aspekte ekonomske isplativosti, te njihov utjecaj na okoliš s posebnim naglaskom na emisiju CO₂ u atmosferu.

Drugo veće poglavlje ovog rada je analiza mjerenih rezultata rada dizalice topline pri kontinuiranom radu. U Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje instalirana je ispitna dizalica topline tlo – zrak s vertikalnim bušotinskim izmjenjivačem, dvostrukom U – cijevi. Ispitivanja su napravljena u 12. mjesecu prošle godine u trajanju od 10 dana, neprekidno. Pretpostavka je bila da će doći do smrzavanja tla oko bušotine. Uz praćenje temperature tla, istovremeno su se pratili i ostali parametri poput temperature kondenzacije, isparivanja, temperature polaza i povrata glikolne smjese, učin bušotinskog izmjenjivača topline, učin kondenzatora itd. Crtanje dijagrama iz dobivenih podataka je napravljeno u programu »Excel«.

Demontažom oplata dizalice topline u laboratoriju dobiven je bolji uvid u realno stanje svih komponenti, te su uzete njihove gabaritne mjere. Na temelju toga je napravljen crtež u 3D programu »SolidWorks«.

Rad sadržava shemu spajanja i automatske regulacije. Na njoj su upisane vrijednosti nazivnih učina kondenzatora i isparivača, snaga kompresora, te standardne dimenzije usisnog, tlačnog i kapljevinskog dijela cjevovoda. Vrijednosti su određene na temelju proračuna.

SADRŽAJ:

Popis slika	III
Popis tablica	V
Popis oznaka i mjernih jedinica	VII
1.OPĆENITO O DIZALICAMA TOPLINE.....	1
1.1. Uvod	1
1.2. Ljevokretni ogrjevni proces – faze rada	2
1.3. Radne tvari u ljevokretnim procesima	7
1.4. Način rada dizalice topline	8
1.5. Toplinski izvori za dizalice topline	8
1.5.1. Dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom	9
1.5.2. Dizalice topline s vodom kao toplinskim izvorom.....	10
1.5.3. Dizalice topline s tlom kao toplinskim izvorom	11
1.5.3.1. Dizalice topline s vodoravno položenim cijevima	12
1.5.3.2. Dizalice topline s vertikalno položenim cijevima	13
1.6. Sustavi iskorištavanja toplinske energije	14
1.7. Ekonomska analiza dizalica topline	14
1.7.1. Bilanca energenata i emisija CO ₂	15
2. ANALIZA REZULTATA MJERENJA DIZALICE TOPLINE PRI KONTINUIRANOM RADU	20
2.1. Temperatura tla po visini (dubini) bušotine	20
2.2. Temperaturni profil bušotine.....	21
2.3. Kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline.....	23

2.4. Temperatura kondenzacije, grijanog prostora i vanjska temperature.....	25
2.5. Temperatura kondenzacije, isparivanja i grijanog prostora	26
2.6. Temperatura polaza i povrata glikolne smjese	28
2.7. Temperatura kondenzacije, isparivanja, polaza i povrata glikolne smjese	29
2.8. Faktor grijanja	30
2.9. Snaga elektromotora kompresora	32
3. DIZALICA TOPLINE.....	33
4. SHEMA SPAJANJA I AUTOMATSKE REGULACIJE UREĐAJA	39
4.1. Princip rada automatske regulacije za režim grijanja.....	39
4.2. Određivanje unutarnjih promjera glavnih dionica cjevovoda, nazivnog učina isparivača i kondenzatora, te snage kompresora	40
5. ZAKLJUČAK.....	47
6. LITERATURA	48

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Shematski prikaz hladnjaka i dizalice topline [1]	1
Slika 1.2. Pojednostavljeni prikaz kompresijske dizalice topline [2]	3
Slika 1.3. Prikaz ljevokretnog procesa u log p,h dijagramu [2]	3
Slika 1.4. Tok energije ljevokretnog procesa [2]	4
Slika 1.5. Ovisnost faktora grijanja o temperaturama kondenzacije i isparivanja [2]	5
Slika 1.6. Dizalica topline sa zrakom kao toplinskim izvorom [3]	8
Slika 1.7. Dizalica topline s vodom kao toplinskim izvorom [4]	9
Slika 1.8. Primjer korištenja dizalice topline s vodoravno položenim cijevima [4]	11
Slika 1.9. Dizalica topline s vertikalno postavljenim cijevima [4]	12
Slika 1.10. Cijena dizalice topline u ovisnosti o učinku grijanja [5]	13
Slika 1.11. Grafički prikaz godišnjih pogonskih troškova	15
Slika 2.1. Temperature tla po visini (dubini) bušotine	17
Slika 2.2. Postavljanje i pozicioniranje temperaturnih osjetnika prije polaganja izmjenjivača u tlo [9]	18
Slika 2.3. Temperaturni profili bušotine kroz 312 sati kontinuiranog pogona	19
Slika 2.4. Temperaturni profili bušotine kroz 24 sata kontinuiranog pogona	20
Slika 2.5. Kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline	21
Slika 2.6. Kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline	21
Slika 2.7. Temperatura kondenzacije, grijanog prostora i vanjskog okoliša	22
Slika 2.8. Temperatura kondenzacije, isparivanja i grijanog prostora	23
Slika 2.9. Temperatura isparivanja	24

Slika 2.10. Temperatura polaza i povrata glikolne smjese	24
Slika 2.11. Temperatura kondenzacije, isparivanja, polaza i povrata glikolne smjese	25
Slika 2.12. Faktor grijanja (COP).....	26
Slika 2.13. Faktor grijanja (COP)	26
Slika 2.14. Snaga elektromotora kompresora.....	27
Slika 3.1. Dizalica topline s mjernom opremom	28
Slika 3.2. Kondenzator s paralelno napajanim cijevima i isparivač (bez izolacije)	29
Slika 3.3. Termoekspanzijski ventil, TEVV	29
Slika 3.4. Prekretni ventil	30
Slika 3.5. Dispozicijski crtež, broj 1.	31
Slika 3.6. Dispozicijski crtež, broj 2.	31
Slika 3.7. Dispozicijski crtež, broj 3.	32
Slika 3.8. Dispozicijski crtež, broj 4.	32
Slika 4.1. T,s dijagram	35
Slika 4.2. log p, h dijagram	35

POPIS TABLICA

Tablica 1.1. Specifična cijena investicije pojedinog sustava grijanja [5]	12
Tablica 1.2. Energetska i ekonomska analiza dizalica topline i konvencionalnih izvora energije	16
Tablica 1.3. Financijska usporedba energenata obzirom na energetske vrijednosti goriva [7]	16
Tablica 4.1. T. Ćurko, S. Mudrinić, Radne tvari u tehnici hlađenja – R407C, Zagreb, 2000. [9]	36

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

Φ_{isp} [W]; učin isparivača

q_0 [J/kg]; specifični učin isparivača

Φ_{kond} [W]; učin kondenzatora

q_k [J/kg]; specifični učin kondenzatora

Φ_{BIT} [W]; kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline

p_k [Pa]; tlak kondenzacije

p_i [Pa]; tlak isparivanja

$\frac{p_k}{p_i}$ [-]; kompresijski omjer

T_k [K]; temperatura kondenzacije

T_i [K]; temperatura isparivanja

T_{pr} [K]; temperatura pregrijanja

T_{po} [K]; temperatura pothlađenja

T_{ok} [K]; temperatura okoliša

T_w [K]; temperatura rashladne vode

T_g [K]; temperatura ogrjevnog toplinskog spremnika

T_h [K]; temperatura rashladnog toplinskog spremnika

P_{komp} [W]; snaga kompresora

W	[J];	mehanički rad
w	[J/kg];	specifični mehanički rad
Q	[J];	toplina
Q_0	[J/cikl];	odvedena toplina po ciklusu
ε_{gr}	[-];	faktor grijanja
ε_{hl}	[-];	faktor hlađenja
\dot{m}_{RT}	[kg/s];	maseni protok radne tvari
$q_{V\ RT}$	[m^3/s];	volumenski protok radne tvari
v^*	[m^3/kg];	specifični volume
v	[m/s];	brzina
V_s	[m^3];	stapajni volumen
n	[s^{-1}];	broj okretaja koljenastog vratila kompresora
λ	[-];	volumetrički stupanj djelovanja kompresora
z	[-];	broj cilindara kompresora
ρ_{usis}	[kg/m^3];	gustoća radne tvari na usisu u kompresor
$\eta_{s,komp}$	[-];	izentropski stupanj djelovanja kompresora
A	[m^2];	površina poprečnog presjeka
d	[m];	promjer
h	[J/kg];	specifična entalpija
s	[J/kgK];	specifična entropija
HSPF	[-];	godišnji toplinski faktor grijanja

$\sum Q_{gr}$ [kWh]; godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora

$\sum Q_{ptv}$ [kWh]; godišnja potrebna toplinska energija za grijanje PTV-a

$\sum E_{sust}$ [kWh]; ukupna godišnja električna energija utrošena za pogon ventilatora, pumpi, kompresora

PTV – potrošna topla voda

CFC – klorofluorougljik

HCFC – klorofluorougljikovodik

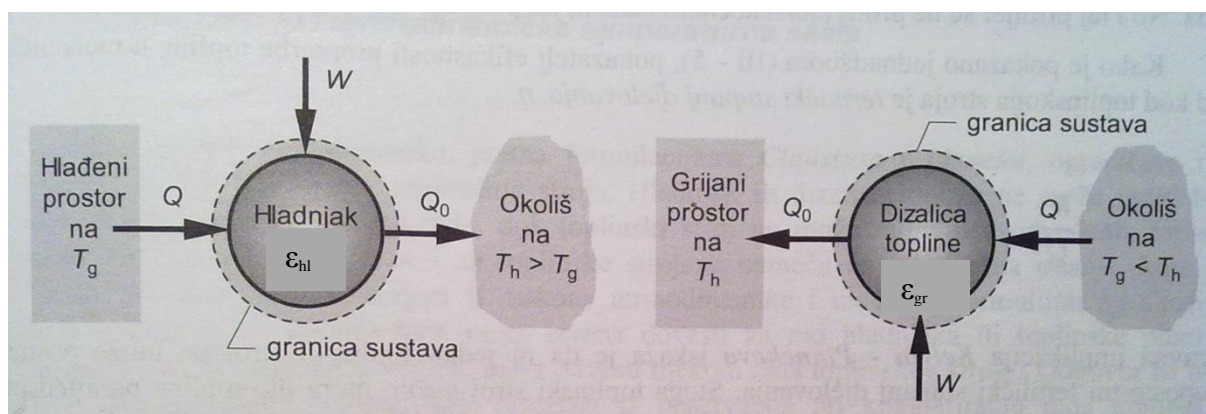
HFC – fluorirani ugljikovodik

1. OPĆENITO O DIZALICAMA TOPLINE

1.1. Uvod

Svima dobro poznati intuitivni prirodni zakon, a koji je također potvrđen kroz bezbrojna zapažanja, govori nam da toplina uvijek prelazi s tijela (sustava) više temperature na tijelo (sustav) niže temperature. Tijekom razvoja kroz povijest ljude je oduvijek zanimalo na koji način postići da se izmjena topline odvija u suprotnom smjeru – s tijela niže na tijelo više temperature. Na temelju svojih zapažanja prvi odgovor na spomenuti zahtjev dao je 1850. godine Clausius. On formira svoj izraz II. zakona termodinamike; koji govori da nije moguće konstruirati bilo kakav uređaj koji bi radio ciklički, predajući toplinu od tijela niže temperature na tijelo više temperature, a da pri tome nema nikakvog utjecaja na okoliš. To bi značilo da moramo dovesti neki rad izvana. Uređaji koji rade po kružnom procesu i pri tome prenose toplinu s niže na višu temperaturu nazivamo hladnjaci i dizalice topline; ovisno na koji način iskorištavamo toplinu kondenzacije. U slučaju da ti uređaji nemaju uključen kompresor, njihov rad bi se protivio II. zakonu termodinamike i to bi bio perpetuum mobile druge vrste.

Već ranije je spomenuo da su hladnjaci i dizalice topline zapravo isti uređaji, ali je osnovna namjena svakog od njih bitno različita. Hladnjak se koristi za održavanje temperature hladionice i robe u njoj ispod temperature okoliša, dok se dizalica topline koristi za održavanje temperature grijanog prostora iznad temperature okoliša i za pokrivanje toplinskih gubitaka. Kod jednog i kod drugog rad se mora dovoditi i to je bitno za odvijanje procesa.



Slika 1.1. Shematski prikaz hladnjaka i dizalice topline [1]

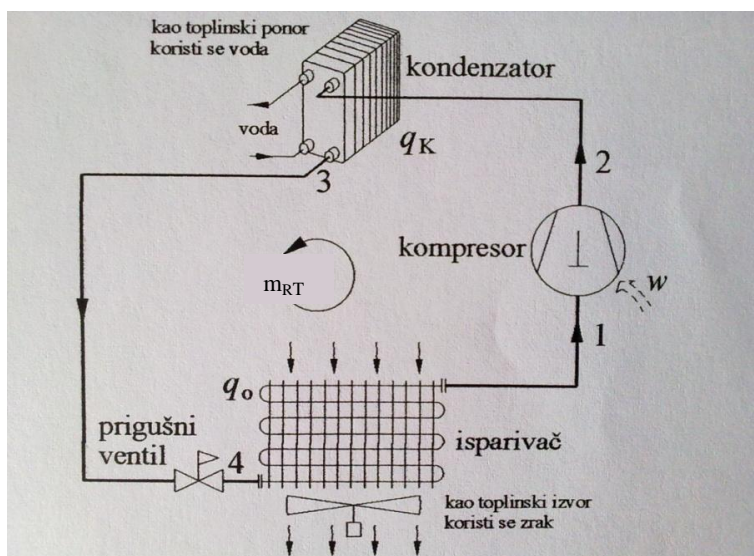
1.2. Ljevokretni ogrjevni proces – faze rada

Rad dizalice topline se temelji na ljevokretnom ogrjevnom kružnom procesu. Pod imenom dizalica topline se smatraju svi uređaji koji preuzimaju toplinu iz toplinskog spremnika/izvora i predaju je toplinskom spremniku/ponoru više temperature gdje se pri tome ta toplina korisno upotrebljava. Svaka dizalica topline sastoji se od četiri osnovna elementa, a to su: isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil. Ljevokretni kružni proces se sastoji od četiri osnovne faze.

1. faza, isparivanje – toplina se preuzima iz toplinskog spremnika/izvora i prenosi se na radnu tvar u isparivaču; Φ_{isp} . Preuzeta toplina se koristi za isparivanje radne tvari od stanja 4, gdje radna tvar egzistira kao mokra para, pa do stanja 1; kao pregrijana para temperature pregrijanja T_{pr} . Proces isparivanja se odvija teoretski pri konstantnom tlaku p_i i određenoj temperaturi isparivanja; T_i . Ovdje je bitno napomenuti da je ta temperatura isparivanja određena temperaturom toplinskog spremnika/izvora i mora biti za nekoliko stupnjeva niža, jer u protivnom nije moguće ostvariti prijenos topline u željenom smjeru. Inače, u realnom slučaju, uvijek se događa mali pad tlaka u isparivaču zbog hidrauličkog otpora strujanja radne tvari. Kao toplinski izvor najčešće se koristi voda, zrak ili tlo.
2. faza, kompresija – pregrijana para radne tvari; stanja 1, ulazi u kompresor, te se adijabatski komprimira na viši tlak (stanje 2) – tlak kondenzacije; p_k . Bitno je da para na usisu u kompresor bude pregrijana, jer se na taj način osiguravamo od hidrauličkog udara kompresora i njegovog mehaničkog oštećenja. Najveća vrijednost omjera kompresije $\frac{p_k}{p_i}$ bi trebala biti 10 – 12. Ako se prijeđe ta vrijednost može doći do sagorijevanja mazivog ulja zbog prevelike temperature na kraju kompresije.
3. faza, kondenzacija – pregrijana para; stanja 2, ulazi u kondenzator. Tamo se najprije hladi do stanja suhozasićene pare, zatim potpuno kondenzira do stanja vrele kapljevine koja se još dodatno pothlađuje do temperature pothlađenja; T_{po} – stanje 3. Izmjena topline i ovdje se odvija približno pri konstantnom tlaku p_k , ali je u realnom slučaju također prisutan pad tlaka zbog hidrauličkog otpora strujanja. Temperatura

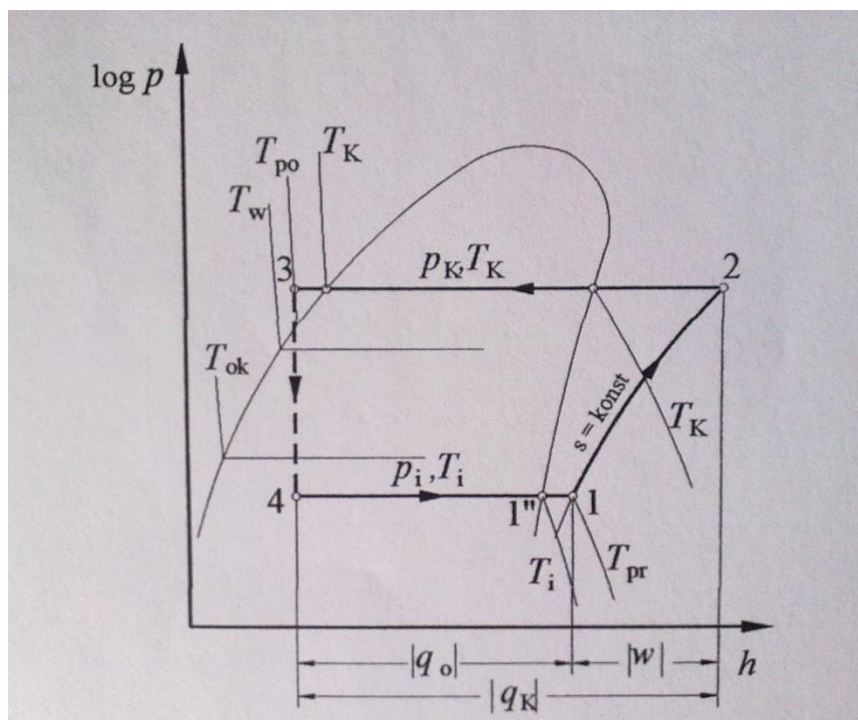
kondenzacije; T_k mora biti viša od temperature toplinskog spremnika/ponora kojem se predaje toplina kondenzacije; Φ_{kond} .

4. faza, prigušenje – podhlađena kapljevina; stanja 3, se prigušuje na prigušnom ventilu s tlaka kondenzacije p_k na tlak isparivanja p_i (stanje 4). Ovime je završen jedan ciklus ljevokretnog ogrijevnog procesa i dalje se sve to ponavlja.



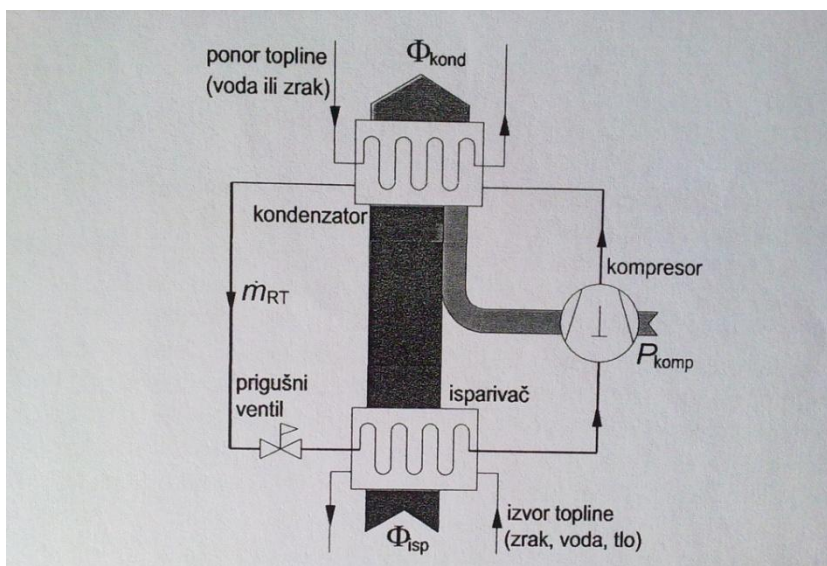
Slika 1.2. Pojednostavljeni prikaz kompresijske dizalice topline [2]

Na slici 1.2. označene su i točke koje predstavljaju početak/kraj osnovnih faza ljevokretnog procesa opisanih u predhodnom odjeljku.



Slika 1.3. Prikaz ljevokretnog procesa u log p,h dijagramu [2]

Dijagram na slici 1.3. nam omogućuje jednostavno praćenje promjene stanja radne tvari uz sve pripadajuće karakteristične temperature.



Slika 1.4. Tok energije ljevokretnog procesa [2]

Iz slike 1.4. se vidi da za određenu količinu privedene energije kompresoru, dobivamo višestruko veću količinu energije na kondenzatoru. Time je definiran toplinski množitelj, odnosno faktor grijanja. On je definiran jednačbom (1.1):

$$\varepsilon_{gr} = \frac{\Phi_{kond}}{P_{komp}} ; \quad (1.1)$$

gdje je učin grijanja, odnosno učin kondenzatora određen jednačbom (1.2):

$$\Phi_{kond} \approx \Phi_{isp} + P_{komp} \quad [\text{W}] \quad (1.2)$$

Rashladni učin isparivača određen je jednačbom (1.3):

$$\Phi_{isp} = \dot{m}_{RT} \cdot q_{isp} = V_S \cdot n \cdot \lambda \cdot z \cdot \rho_{usis} \cdot q_{isp} \quad [\text{W}] \quad (1.3)$$

Ogrjevni učin kondenzatora određen je jednačbom (1.4):

$$\Phi_{kond} = \dot{m}_{RT} \cdot q_{kond} = V_S \cdot n \cdot \lambda \cdot z \cdot \rho_{usis} \cdot q_{kond} \quad [\text{W}] \quad (1.4)$$

pri tome je: q_0 - specifični učin isparivača, J/kg

q_k - specifični učin kondenzatora, J/kg

\dot{m}_{RT} - maseni protok radne tvari, kg/s

V_S - stapajni volumen, m^3

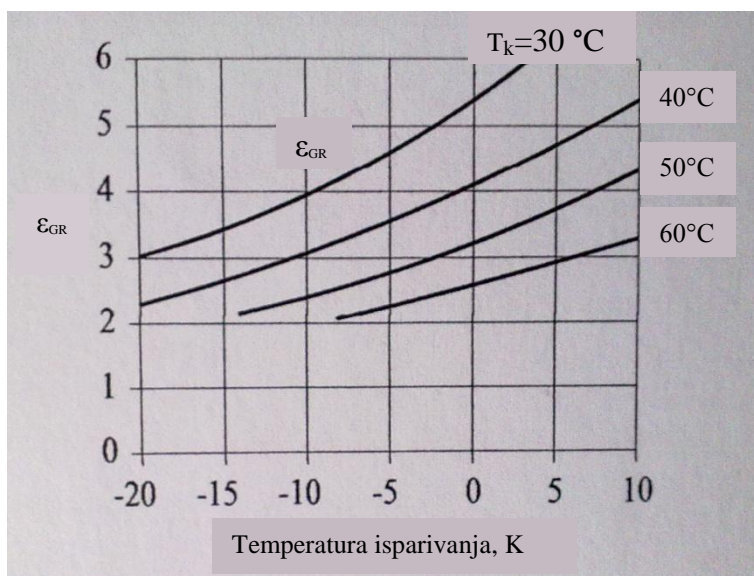
n - broj okretaja koljenastog vratila kompresora, s^{-1}

λ - volumetrički stupanj djelovanja kompresora, -

z - broj cilindara kompresora, -

ρ_{usis} - gustoća radne tvari na usisu u kompresor, kg/m^3

U engleskoj literaturi se za faktor grijanja koristi naziv Coefficient Of Performance (COP). Faktor grijanja govori da za svaki uloženi kW za pogon kompresora, dobivamo više od jednog kW toplinskog toka na kondenzatoru. U najčešćem broju slučaja, vrijednost faktora grijanja se kreće između 2 i 4, a često i do 6. Vrijednost 6 može biti npr. za zagrijavanje plivajućeg bazena, dok recimo za zagrijavanje PTV-a (potrošne tople vode) na 60°C ta vrijednost može biti nešto niža; oko 3. Učinkovitost dizalice topline pada sa smanjenjem temperature toplinskog izvora i povećanjem temperature rashladne vode na izlazu iz kondenzatora. Time smo došli do jednog vrlo bitnog zaključka: faktor grijanja će biti to veći, a snaga za pogon kompresora manja, što je manja temperaturna razlika između toplinskog izvora i toplinskog ponora.



Slika 1.5. Ovisnost faktora grijanja o temperaturama kondenzacije i isparivanja [2]

Iz dijagrama na slici 1.5. je vidljivo da se vrijednost faktora grijanja smanjuje povećanjem temperature kondenzacije T_k , odnosno sa smanjenjem temperature isparivanja T_i .

U praksi se inače dosta koristi pojam godišnjeg toplinskog faktora grijanja; HSPF (engl. Heating Seasonal Performance Faktor). Njegova vrijednost se definira kao omjer (jednadžba 1.5) stvarno dobavljene toplinske energije kroz čitavu godinu i utrošene pogonske energije za pogon kompresora, ventilatora, pumpi itd. kroz isto vremensko razdoblje.

$$HSPF = \frac{\sum_{god} (Q_{gr} + Q_{ptv})}{\sum_{god} E_{sust}} \quad (1.5)$$

$\sum Q_{gr}$ - godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora; kWh

$\sum Q_{ptv}$ - godišnja potrebna toplinska energija za grijanje PTV-a; kWh

$\sum E_{sust}$ - ukupna godišnja električna energija utrošena za pogon ventilatora, pumpi, kompresora; kWh.

1.3. Radne tvari u ljevokretnim procesima

Zahtjevi koji se postavljaju na RT su: niska temperatura isparivanja pri atmosferskom tlaku, ne previsok tlak kondenzacije, mali specifični volumen pri temperaturi isparivanja, velika latentna toplota isparivanja i kondenzacije, nekorozivnost, fizikalna i kemijska stabilnost (tokom radnog vijeka uređaja), neotrovnost i nezapaljivost.

Prema porijeklu dijelimo ih na anorganske: amonijak, zrak, ugljični dioksid, voda; te na organske: ugljikovodici, halogenirani derivati metana i etana. Halogenirani ugljikovodici se dijele na: klorofluorouglikove – CFC (R11, R12, R502...); klorofluorouglikovodike – HCFC (R22) i fluorirane ugljikovodike – HFC (R404a, R407C, R410A, R134a). R11, R12... su štetni za ozonski omotač i stoga su Montrealskim sporazumom iz 1987. zabranjeni za daljnju uporabu. U Republici Hrvatskoj se taj sporazum počeo primjenjivati od 2000. godine. Manje štetna tvar je HCFC, iako se i ona sve manje koristi. Ekološki prihvatljiva radna tvar je HFC koja nema nikakvog utjecaja na ozon. Za dizalice topline se najčešće koriste sljedeće radne tvari: R404A, R407C, R410A i R134a. [2]

1.4. Način rada dizalice topline

1.4.1. Monovalentni

1.4.2. Bivalentno – paralelni

1.4.3. Bivalentno – alternativni

1.4.1. Monovalentni način rada: toplinska energija potrebna za pokrivanje toplinskih gubitaka grijanog objekta(prostora) tokom čitave godine se pokriva isključivo radom dizalice topline. Učinak joj se projektira prema vanjskoj projektnoj temperaturi zraka za određeno geografsko područje. Dizalice topline, s tлом kao toplinskim izvorom, primjer su rada monovalentnog sustava. Bitna prednost monovalentnog sustava je što nema potrebe za pomoćnim izvorom energije (kotao), plinskim instalacijama, spremnikom lož-ulja, dimnjakom.

1.4.2. Bivalentno – paralelni način rada: kod ovih sustava postoji regulacija koja pri nekoj namještenoj vanjskoj temperaturi zraka uključuje/isključuje dodatni toplinski izvor. Osim vanjske temperature zraka, kao parametar se uzima i potrebni učinak grijanja. Prednost ovakvih sustava je zadržavanje postojećeg kotla, instalacija i veća je sigurnost opskrbe objekta toplinskom energijom.

1.4.3. Bivalentno – alternativni način rada: sustavi kod kojih postoji regulacija koja pri nekoj određenoj vanjskoj temperaturi u potpunosti uključuje/isključuje dodatni toplinski izvor. To bi značilo npr. da padom vanjske temperature prestaje rad dizalice topline i svu potrebnu toplinsku energiju osigurava kotao.

1.5. Toplinski izvori za dizalice topline

Toplinski izvori trebaju zadovoljiti neke kriterije da bi ih mogli kvalitetno eksploatirati. Trebaju osigurati potrebnu količinu topline u bilo koje doba dana i pri što većoj temperaturi, utrošena energija potrebna za transport topline od izvora do isparivača treba biti što niža, a troškovi priključenja izvora na dizalicu topline također što niži.

Toplinski izvori dizalica topline mogu biti: zrak, voda ili tlo.

Podjela dizalica topline prema vrsti toplinskog izvora:

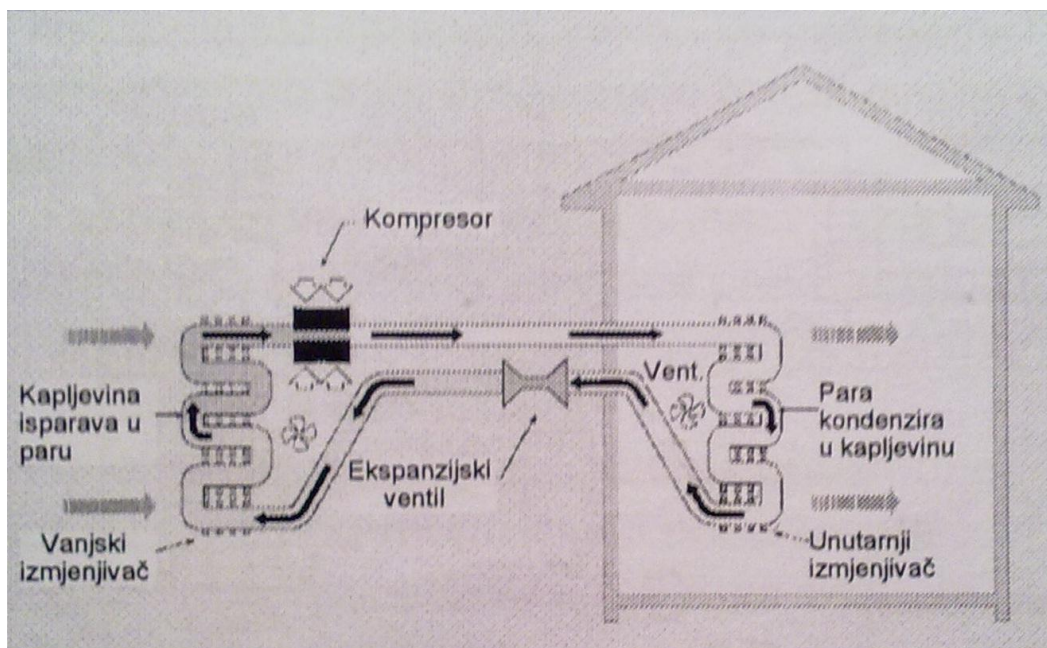
- 1.5.1 Dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom
- 1.5.2. Dizalice topline s vodom kao toplinskim izvorom
- 1.5.3. Dizalice topline s tlom kao toplinskim izvorom.

1.5.1. Dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom

Dizalice topline uglavnom se koriste za grijanje vode i zraka. Zagrijavanje vode, uz zrak kao toplinski izvor, može biti zbog raznih kućanskih potreba ili zbog zagrijavanja bazena. To su tzv. »zrak – voda« dizalice topline. Potrebe za zagrijavanjem zraka se javljaju u zimskom periodu za vrijeme sezone grijanja prostora unutar kuća, tvornica, zgrada itd. Ova vrsta dizalica topline također koristi zrak kao izvor topline i zovemo ih »zrak – zrak« dizalice topline. Njihova značajka je široka rasprostranjenost zbog jednostavnosti priključenja na sustav grijanja i zbog pristupačnosti toplinskog izvora što je svakako jedna od glavnih prednosti.

Problemi koji se javljaju su različito vrijeme pojave maksimalne temperature zraka i potrebe neke prostorije za grijanjem. Kad je temperatura vanjskog zraka najniža, potreba za grijanjem je najveća i obrnuto. Druga vrsta problema koja se javlja je zaleđivanje isparivača. Naime, vanjski zrak oko 0°C sadrži znatnu količinu vlage. Naslage leda na isparivaču smanjuju koeficijent prolaza topline i samim time otežavaju rad sustava. Kad se na isparivaču stvori led, treba prekinuti pogon dizalice topline i trošiti energiju za odleđivanje. Ukupna potrošnja topline za odleđivanje iznosi oko 5-10% energije utošene godišnje za pogon kompresora dizalice topline. Kao još jedan od ograničavajućih faktora u primjeni je buka.

Optimalan volumenski protok zraka za pogon dizalice topline je u granicama od 300 do 500 m^3/h za 1kW ogrjevnog učinka. [3]



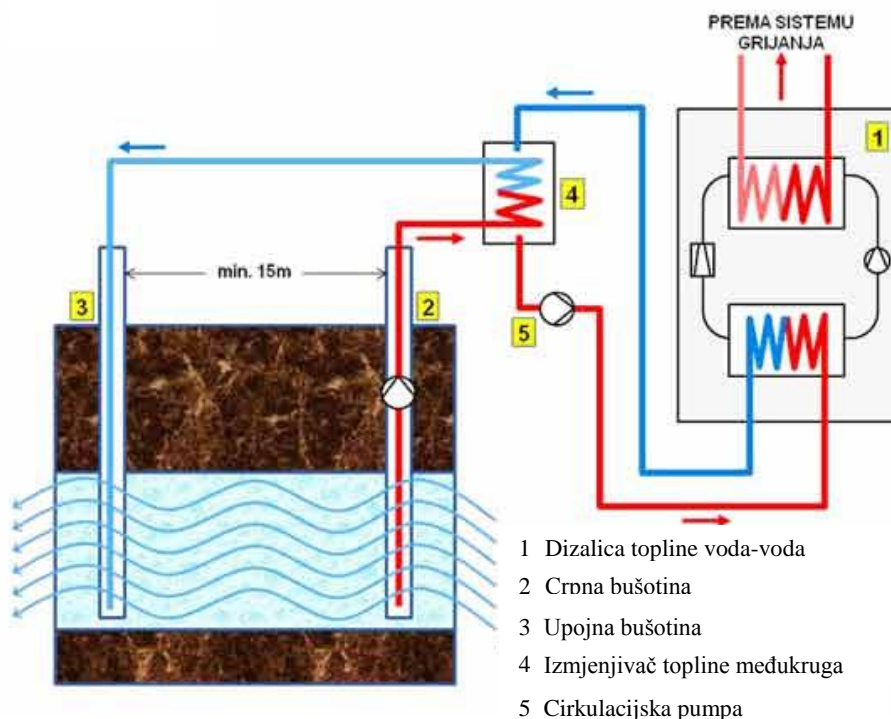
Slika 1.6. Dizalica topline sa zrakom kao toplinskim izvorom [3]

Sustav dizalice topline sa zrakom kao toplinskim spremnikom/izvorom, prikazan na slici 1.6., instaliran je unutar građevine sa svrhom grijanja zraka unutar prostorije.

1.5.2. Dizalice topline s vodom kao toplinskim izvorom

Voda se isto koristi kao izvor topline. Prednost ovih sustava je što voda ima približno konstantnu temperaturu na određenoj dubini. Sustavi mogu biti izvedeni kao direktni (uz predhodno filtriranje vode) - voda se izravno dovodi na isparivač ili se isparivač smješta u bušotine(bunare) – podzemna voda ili u jezera, rijeke – površinska voda. Temperatura podzemne vode iznosi, ovisno o dubini i geografskoj lokaciji, 10 - 14°C . Podzemna voda se crpi iz bušotina (bunara) – crpne bušotine, te se ohlađena vraća preko upojne bušotine natrag nizvodno u podzemni vodotok ili se odvodi u kanalizaciju. Prednost ovih sustava je niska cijena, a nedostatak sakupljanje biljnih i životinjskih organizama na izmjenjivačkim površinama što zahtjeva redovito čišćenje i održavanje.

Zbog mogućeg prisutnog onečišćenja, pogonskog održavanja i sigurnosti koristi se indirektni sustavi. Dodaje se još jedan sekundarni optočni krug i dodatni izmjenjivač topline. Prednost je što nema opasnosti od zagađenja vode, jer se voda vraća u bušotinu (bunar) nepromijenjenog kemijsko – biološkog sastava. Nedostatak je ograničena rasprostranjenost vodnih resursa i viša cijena izvedbe u odnosu na direktne sustave. [3]



Slika 1.7. Dizalica topline s vodom kao toplinskim izvorom [4]

Toplina kondenzacije se koristi za zagrijavanje zraka; »voda – zrak« ili za zagrijavanje vode; »voda – voda« dizalice topline. »Voda – voda« dizalice topline svoju primjenu u industriji su našle za istovremenu proizvodnju tople i hladne vode. Nazivamo ih dvonamjenski sustavi.

1.5.3. Dizalice topline s tlom kao toplinskim izvorom

Toplinski izvor za rad dizalice topline može biti i okolno tlo. Tlo pruža dobre mogućnosti za izmjenu topline sa stabilnom temperaturom tokom čitave godine. Ta temperatura se kreće u granicama između 7 i 13 °C. Dizalice topline s ukopanim izmjenjivačem primjenjuje se u različitim sustavima gdje toplina može biti korisno iskorištena za zagrijavanje zraka i vode. Tada ih nazivamo »tlo-zrak« i »tlo-voda« dizalice topline.

Posredni medij preuzima toplinu iz tla i predaje je radnoj tvari na isparivaču. Kao posredni medij mogu biti glikolne smjese ili rasoline. Njihova je karakteristika niska temperatura ledišta i tako se sprječava zamrzavanje unutar cijevi.

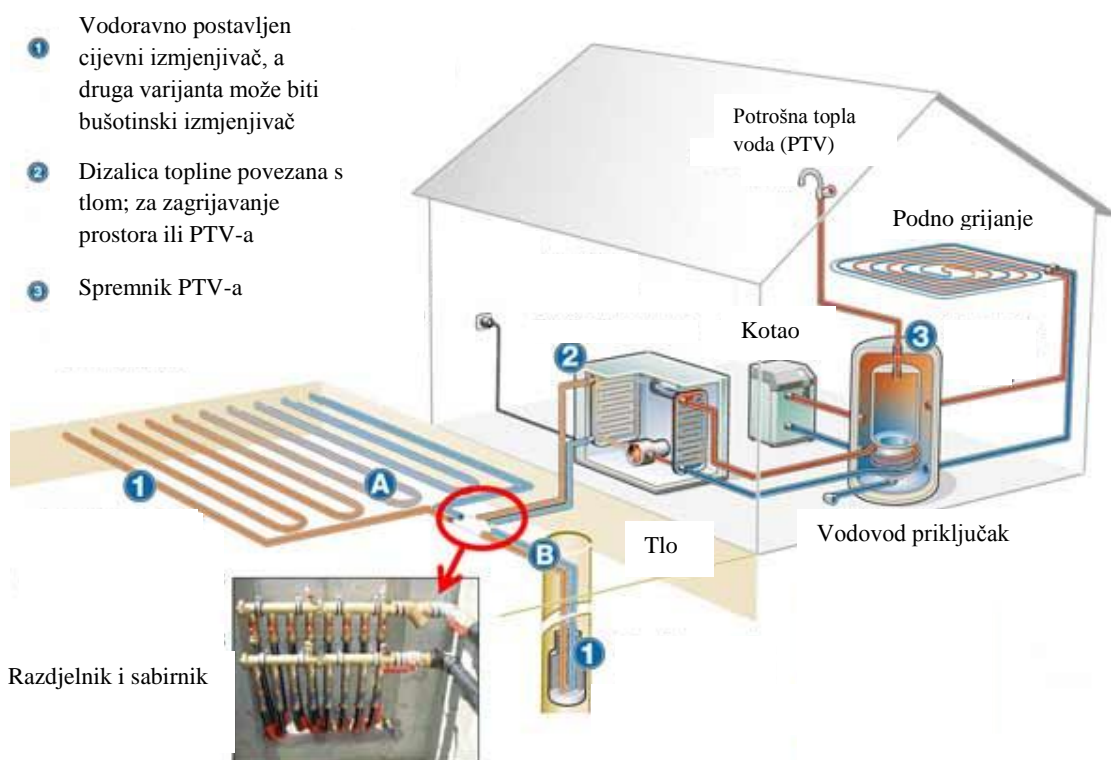
Dijelimo ih prema načinu postavljanja izmjenjivača topline u tlo. Imamo okomiti i vodoravni sustav.

1.5.3.1. Dizalice topline s vodoravno položenim cijevima

Izvedbe ove vrste dizalica topline mogu se podijeliti u tri podgrupe [3]:

1. Jednocijevni sustav – postavlja se u uske rovove na dubini od 1,2 do 2 metra s razmakom između cijevi od 0,6 metara. Ova vrsta sustava zahtijeva najveću površinu tla.
2. Višecijevni sustav – uobičajeno dvo-, četvero- ili šest-. Smješten je u jedan rov i tako smanjuje potrebnu površinu tla.
3. Spiralni izmjenjivač – dodatno smanjuje potrebnu površinu tla.

Prilikom projektiranja ovakvih sustava potrebno je obratiti pozornost na način rada sustava grijanja s dizalicom topline – monovalentan ili bivalentan, način polaganja kolektora, duljinu i promjer cijevi.



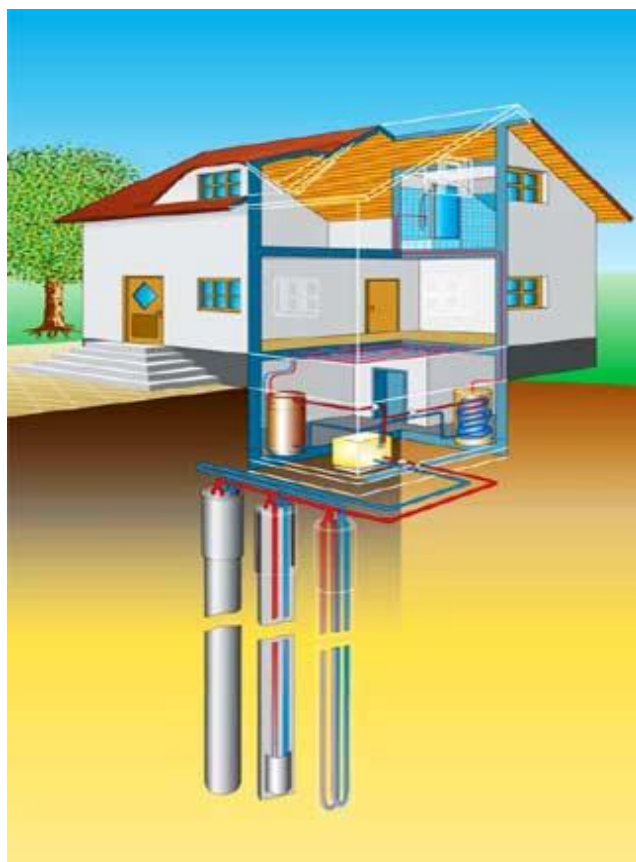
Slika 1.8. Primjer korištenja dizalica topline s vodoravno položenim cijevima [4]

Sustav grijanja obiteljske kuće, prikazan slikom 1.8., kao glavni izvor toplinske energije koristi toplinu »podignutu« na viši energetske nivo uz pomoć dizalica topline koja ima vodoravno položen cijevni izmjenjivač unutar tla. Osim grijanja, dizalica topline se koristi i za

zagrijavanje potrošne tople vode. U slučaju povećanih toplinskih gubitaka, kao pomoćni izvor toplinske energije služi toplovodni kotao.

1.5.3.2. Dizalice topline s vertikalno postavljenim cijevima

Kad nam na raspolaganju nisu dostupne veće površine tla koristimo vertikalno postavljene izmjenjivače. Potrebna količina toplinske energije za grijanje nekog objekta određuje promjer i dubinu, te broj bušotina u koje se smještaju cijevi izmjenjivača. Izvođenje radova bušenja tla je brže nego iskapanje kanala za vodoravno postavljanje cijevi. Cijevi koje se postavljaju u bušotine su dvostruke U-cijevi napravljene od polietilena visoke gustoće (HDPE) promjera od DN20 do DN40. Nakon postavljanja cijevi, bušotine se ispunjavaju bentonitnom ispunom. U jedan kraj cijevi ulazi posredni medij iz dizalice topline niže temperature, dok u drugi kraj ulazi zagrijan i više temperature. Za posredni medij se najčešće koristi mješavina vode i glikola. Specifični toplinski tok po metru dubinskom iznosi od 25 do 100 W/m. Međusobni razmak između bušotina treba biti minimalno 5 m za cijevi duljine do 50 m. Za dulje cijevi, međusobni razmak treba iznositi minimalno 6 m. Troškovi postavljanja cijevi unutar bušotine, što uključuje i njeno bušenje, iznosi odprilike 50 €/m. [3]



Slika 1.9. Dizalica topline s vertikalno postavljenim cijevima [4]

1.6. Sustavi iskorištavanja toplinske energije

Toplina preuzeta iz nekog toplinskog spremnika pomoću dizalice topline može se koristiti za grijanje prostorija ili zagrijavanje potrošne tople vode. Sustavi za grijanje prostorija mogu biti izvedeni kao radijatorsko grijanje, podno/stropno/panelno grijanje i grijanje ventilokonvektorima. Svaki od navedenih sustava se razlikuje po izvedbi, pa o tome ovisi i cijena početne investicije.

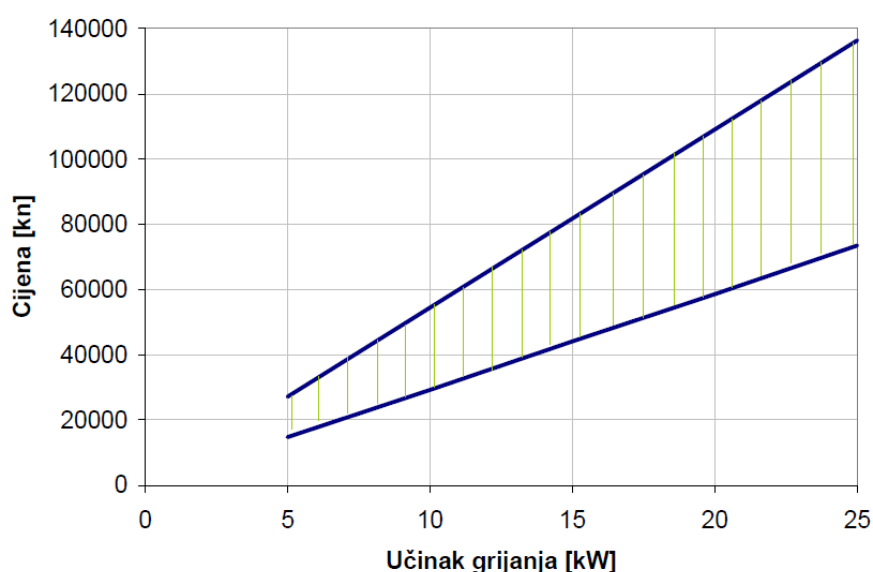
Tablica 1.1. Specifična cijena investicije pojedinog sustava grijanja [5]

SUSTAV PREDAJE TOPLINSKE ENERGIJE	Specifična cijena [kn/m ²]
Radijatorsko grijanje	100-150
Podno grijanje	130-175

1.7. Ekonomska analiza dizalice topline

Tehničko rješenje sustava dizalice topline treba voditi ka najoptimalnijem – optimizacija. Pri tome je bitno voditi računa o financijskim mogućnostima investitora, da troškovi pogona i održavanja budu što manji, da ulaganja budu što manja i težiti tome da se postigne maksimalni komfor sa odabranim sustavom. Krajnji cilj svakog projekta je osmisliti i projektirati sustav koji ima što kraće vrijeme izjednačavanja troškova početne investicije kroz pogonske uštede. To izjednačenje se mora dogoditi barem na 2/3 pogonskog vijeka instalacije. Ostalo vrijeme pripada trajnoj uštedi. Dugoročno planiranje je bitno zbog pravilnog odabira sustava sa ciljem smanjenja pogonskih troškova i dugoročnih ušteda u odnosu na klasične sustave. Kod ove vrste planiranja treba uzeti u obzir energetske učinkovitost sustava, utjecaj na okoliš, vijek trajanja koji za građevine iznosi 100 – 150 godina; dok za dizalice topline on iznosi 20 – 25 godina. Pod pojmom klasični sustavi podrazumijevaju se: daljinska centralna grijanja, uljne i plinske instalacije, UNP instalacije i biomasa. Investicija klasičnih sustava i sustava dizalice topline ovisi o njihovoj složenosti. Za klasične se cijena kreće od 250 do 450 kn/m², dok je za sustave dizalice topline taj iznos nešto veći; od 500 do 2000 kn/m². [6]

Kao orijentacijska vrijednost i provjera za okvirnu cijenu dizalica topline može nam poslužiti kvalitativni graf sa slici 1.10. Graf daje ovisnost investicije (u kunama) o učinku grijanja (kW). Područje razmatranja je omeđeno dvjema plavim linijama. S povećanjem učinka grijanja, raste i cijena investicije. Također se može primjetiti da omeđeno područje postaje šire u desnom dijelu dijagrama. To dovodi do zaključka da s porastom učinka grijanja cijena investicije dizalice topline može dosta varirati i kao takva uzima se u obzir za početno, određivanje troškova. Za stvarno određivanje investicije potrebno je napraviti detaljniju analizu i projekt.



Slika 1.10. Cijena dizalice topline u ovisnosti o učinku grijanja [5]

1.7.1. Bilanca energenata i emisije CO₂

Osnova je godišnja potrebna toplinska energija za grijanje, a na temelju nje i odabrane vrste energenta, dobiva se godišnji trošak pogona. Za primjer je uzeta geotermalna dizalica topline instalirana u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje, te konvencionalne vrste goriva (zemni plin, UNP, peleti, itd.). Laboratorij je površine 80 m^2 , a pretpostavka je da se godišnje ostvari 120 kWh toplinske energije po metru kvadratnom. To znači da moramo osigurati minimalnu godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje u iznosu od 9600 kWh ($120 \times 80 = 9600$). Uzimajući u obzir faktor grijanja kod dizalice topline i stupanj djelovanja kotla kod konvencionalnih goriva, dobivamo efektivnu potrebu za energijom. Iz tablice 1.2. vidljivo je da za je grijanje našeg laboratorija efektivna potreba za energijom najmanja ako se koristi dizalica

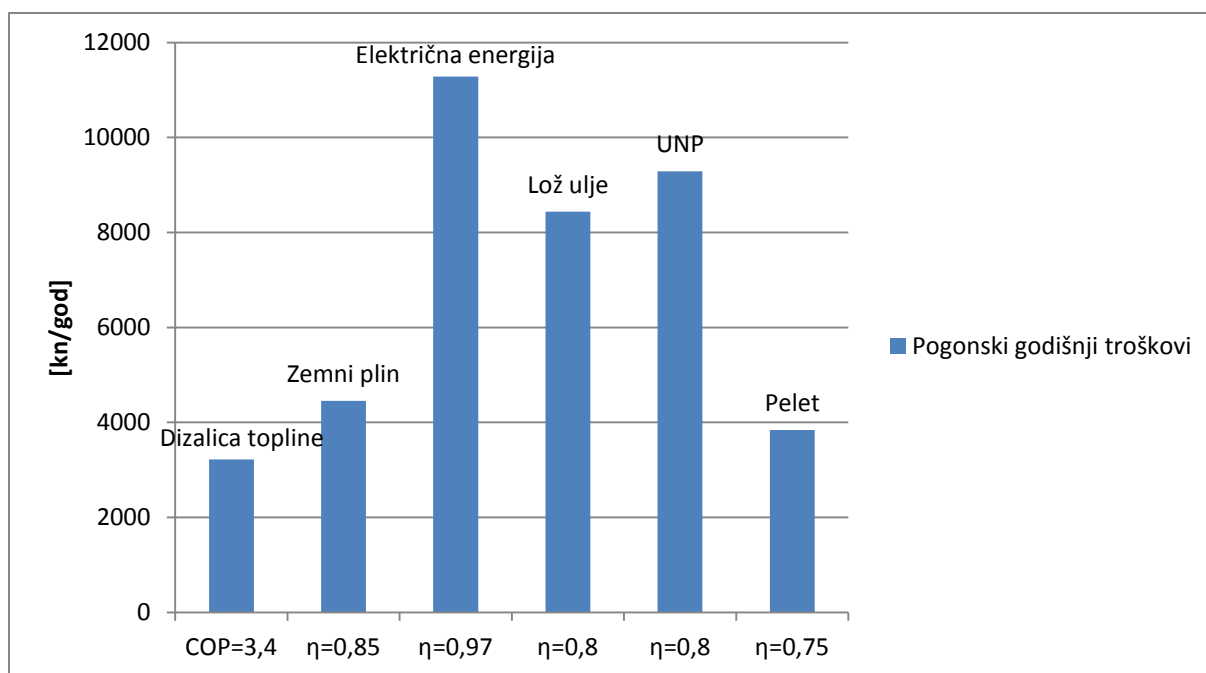
topline, 2824 kWh. Pri tome je vrijednost faktora grijanja uzeta 3,4; zato jer je to vrijednost koja se stacionira nakon duljeg rada. Kako se mijenja vrijednost faktora grijanja s duljinom trajanja pogona dizalice topline, bit će detaljnije objašnjeno u 2. poglavlju. U slučaju grijanja laboratorija konvencionalnim gorivima, najveća efektivna potreba za energijom se pokazala kad se koriste peleti, 12800 kWh. Razlog tome je relativno nizak stupanj djelovanja kotla na kruta goriva; oko 0,75. Kod kotlova na tekuća goriva stupanj djelovanja je nešto veći; oko 0,8. Kotlovi na plinovita goriva imaju stupanj djelovanja oko 0,85. Izvor toplinske energije za grijanje može biti i električna struja koja se dijelom pretvara u toplinu u električnim grijačima. Stupanj djelovanja električnih grijača je oko 0,97. [7]

Dijeljenjem dobivenih energetske potrebe za energijom s energetske vrijednošću iz tablice 1.3., dobivamo utrošak energenta, tablica 1.2.

Svaki energent ima svoju cijenu u kunama po mjernoj jedinici (specifična cijena), tablica 1.3. Kilogram peleta stoji 1,5 kuna; dok kilogram UNP-a stoji 9,92 kn. Za električnu energiju postoje dvije tarife – jeftinija (NT) i skuplja (VT). Kod izrade ekonomske analize uzeta je nepovoljnija vrijednost, skuplja tarifa.

Godišnji pogonski troškovi su dobiveni množenjem utroška energenta i specifične cijene. Za naš slučaj, najmanji godišnji pogonski troškovi su pri korištenju dizalice topline, 3219 kn. Nešto veći iznos je pri korištenju peleta, 3840 kn/a. Daleko najneisplativije je grijanje na električnu struju, čak 11283 kn/a. To je skoro 3 puta više nego za dizalicu topline. Ukoliko se koristi lož ulje, godišnje će trebati izdvojiti oko 8500 kn, dok će za UNP taj iznos biti nešto veći, oko 9300 kn, tablica 1.2.

Izračunati godišnji pogonski troškovi dani su i u grafičkom prikazu, slika 1.11.



Slika 1.11. Grafički prikaz godišnjih pogonskih troškova

Gledajući podatke o emisiji CO_2 , najmanju ima električna energija – 0,53 kg/kWh. Taj iznos se zapravo odnosi na prosječnu emisiju CO_2 koja se oslobađa u atmosferu prilikom dobivanja 1 kWh električne energije. Danas se sve više dobiva električna energija iz obnovljivih izvora energije za koje se uzima da je emisija CO_2 jednaka nuli, pa je stoga prosječna emisija relativno niska u odnosu na konvencionalne izvore energije. Pelet (drvena masa) se smatra obnovljivim izvorom energije. U tablici 1.2., za njega nije uzeta nikakva vrijednost emisije CO_2 . Razlog tome je što drvena masa tijekom svoga rasta apsorbira određenu količinu CO_2 . Sva ta apsorbirana količina se kasnije oslobodi u istom iznosu prilikom izgaranja. Time je zapravo postignuta ravnoteža emisije u atmosferu.

Za pogon kompresora dizalice topline, gotovo pa uvijek, se koristi elektromotor spojen na gradsku električnu mrežu. Iz tog razloga se uzima da je vrijednost emisije CO_2 u atmosferu jednaka onoj kao kod električne energije.

Kod izgaranja konvencionalnih vrsta goriva za dobivanje toplinske energije, emisija CO_2 je nešto veća. To zavisi o vrsti konvencionalnog goriva koje izgara. Izgaranjem jednog metra kubnog zemnog plina oslobodi se oko 1,9 kg CO_2 ; kod izgaranja litre lož ulja oslobađa se 2,6 kg CO_2 , dok se prilikom izgaranja kilograma ukapljenog naftnog plina oslobodi najveća količina CO_2 ; 2,9 kg. [8]

Tablica 1.2. Energetska i ekonomska analiza dizalica topline i konvencionalnih izvora energije

	Dizalica topline	Zemni plin	Električna energija	Lož ulje	UNP	Pelet
ENERGETSKA ANALIZA						
Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje; kWh	9600	9600	9600	9600	9600	9600
Stupanj djelovanja/faktor grijanja	3,4	0,85	0,97	0,8	0,8	0,75
Efektivna potreba za energijom; kWh	2824	11294	9897	12000	12000	12800
Utrošak energenta	2824 kWh	1220 m ³	9897 kWh	1205 L	936 kg	2560 kg
Emisija CO ₂	0,53 kg/kWh	1,9 kg/m ³	0,53 kg/kWh	2,6 kg/L	2,9 kg/kg	
Ukupna godišnja emisija CO ₂ ; kg/a	1497	2318	5245	3133	2714	
EKONOMSKA ANALIZA						
Godišnji pogonski troškovi; kn/a	3219	4453	11283	8435	9285	3840

Tablica 1.3. Financijska usporedba energenata obzirom na energetska vrijednost goriva [7]

GORIVO	Jedinica mjere	Energetska vrijednost (kWh/j.mj.)	Cijena (kn/j.mj.)	Cijena (kn/kWh)
Zemni plin	m^3	9,26	3,65	0,39
UNP	kg	12,82	9,92	0,77
Električna energija	kWh	1	VT 1,14 NT 0,56	1,02
Lož ulje	L	9,96	7,00	0,70
Pelet	kg	5	1,5	0,30

Cijena kn/j.mj. – je službena cijena pojedinačnog goriva koju plaćamo dobavljaču.

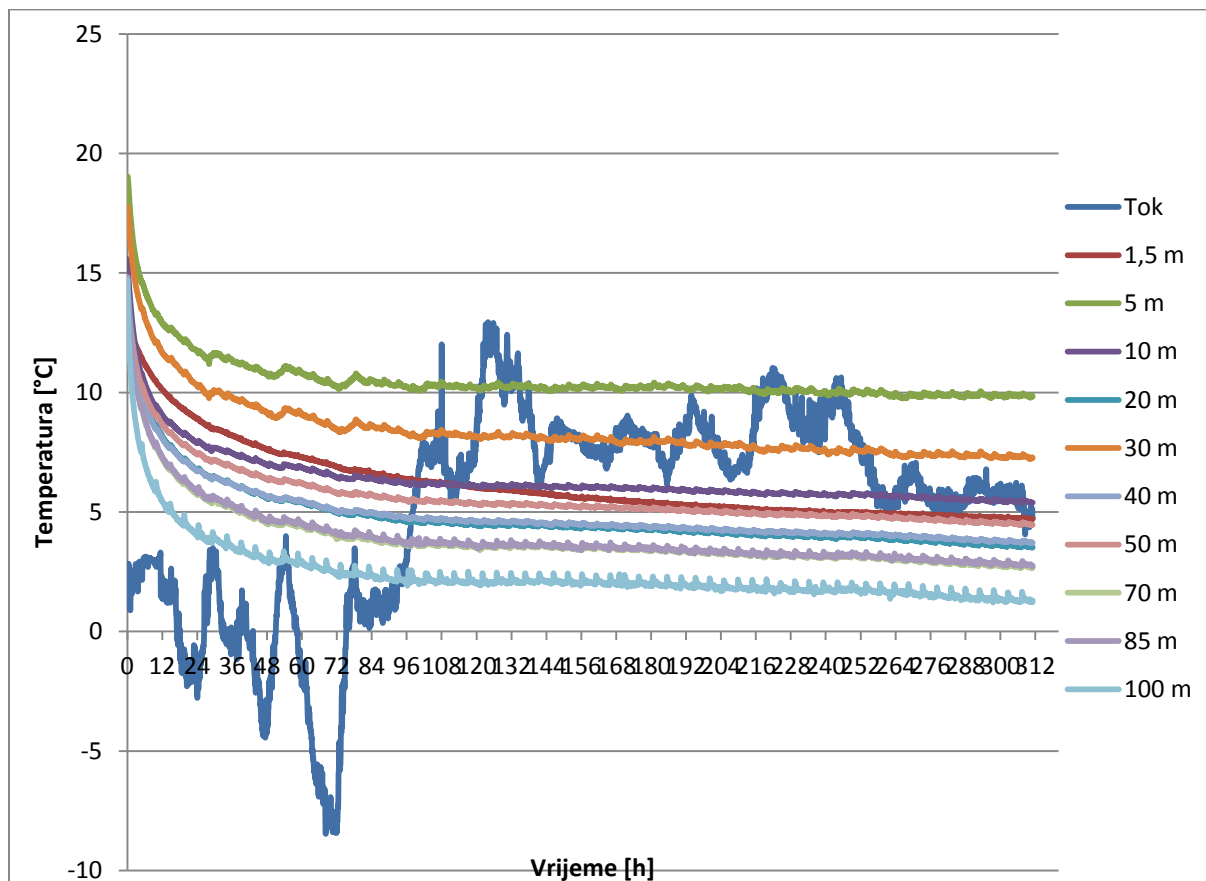
Cijena kn/kWh – je cijena jednog kWh toplinske energije dobivene iz goriva.

VT – viša tarifa

NT – niža tarifa

2. ANALIZA REZULTATA MJERENJA DIZALICE TOPLINE PRI KONTINUIRANOM RADU

2.1. Temperatura tla po visini (dubini) bušotine



Slika 2.1. Temperature tla po visini (dubini) bušotine

Dizalica topline voda-zrak, instalirana u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, puštena je u pogon 10.12.2012. u 8 sati i 30 minuta. Sa svrhom praćenja i bilježenja podataka kao što su temperatura tla po dubini, temperatura kondenzacije i isparivanja, snaga potrebna za pogon kompresora, faktor grijanja (COP); dizalica topline je radila kontinuirano do 23.12.2012. u 10 sati.

Svojim radom ona crpi toplinu iz tla, »podiže« je na veći energetska nivo i predaje je prostoriji površine 80 m² za pokrivanje njenih toplinskih gubitaka. Oduzimajući toplinu tlu, njegova temperatura se smanjuje. Temperaturni osjetnici u tlu su postavljeni na 1,5; 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 85 i 100 metara. Svi oni bilježe nagli pad temperature za prvih 12 sati rada. Nakon toga temperature imaju nešto blaži pad do prvih 100 sati kontinuiranog pogona.

Do kraja pogona (312 sati rada) temperature imaju vrlo malu tendenciju pada, dok recimo temperatura na 5 m dubina ostaje gotovo konstantna. Kao što se i može vidjeti iz priloženog dijagrama na slici 2.1., najniža temperatura tla je na najvećoj dubini (100m), te pri kraju rada ona iznosi oko 2,2 °C. Daljnjim radom dizalice topline iznos te temperature se više ne bi značajnije smanjivao zbog uspostavljanja stacionarnog stanja izmjene topline s okolnim tlom. Zbog toga neće doći do smrzavanja tla oko bušotinskog izmjenjivača topline, što je prvotno bila naša pretpostavka.

2.2. Temperaturni profil bušotine

Temperaturni osjetnici, na dubinama od 1,5 do 100 metara, postavljeni su vlastitim tehnologijama FSB-a kao i znanjem njegovih stručnjaka. Osjetnici omogućuju praćenje trenda promjene temperature na kontaktnoj površini između bušotine i tla.

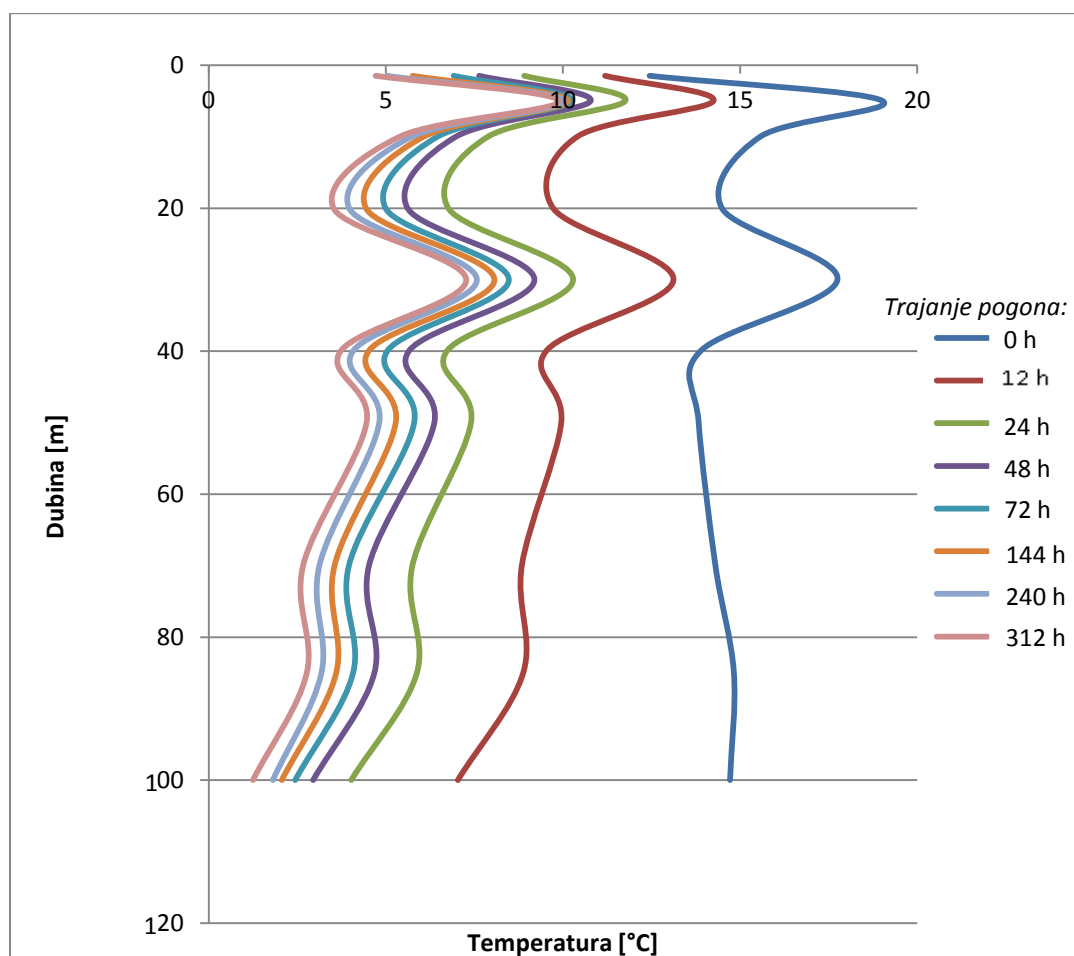


Slika 2.2. Postavljanje i pozicioniranje temperaturnih osjetnika prije polaganja izmjenjivača u tlo [11]

Slika 2.3. daje prikaz rezultata mjerenja temperature tla po visini (dubini) bušotine nakon određenog vremenskog intervala. Taj vremenski interval za prvi dan rada iznosi 12 sati, nakon toga interval postaje dulji – po 24 sata; da bi pred kraj rada on iznosio 72, odnosno 96 sati. Korištenjem dobivenih rezultata u programu »Excel« dobiveni su temperaturni profili tla. Na ordinati se nalaze vrijednosti dubine ispitne bušotine, a na apscisi vrijednosti temperature tla. Temperaturni profili se mijenjaju s trajanjem pogona dizalice topline. Svaki od njih u dijagramu je naznačen drugom bojom za karakteristično vrijeme. Objašnjenje boja se nalazi s desne strane u dijagramu. Ako se promotre svi temperaturni profili, može se

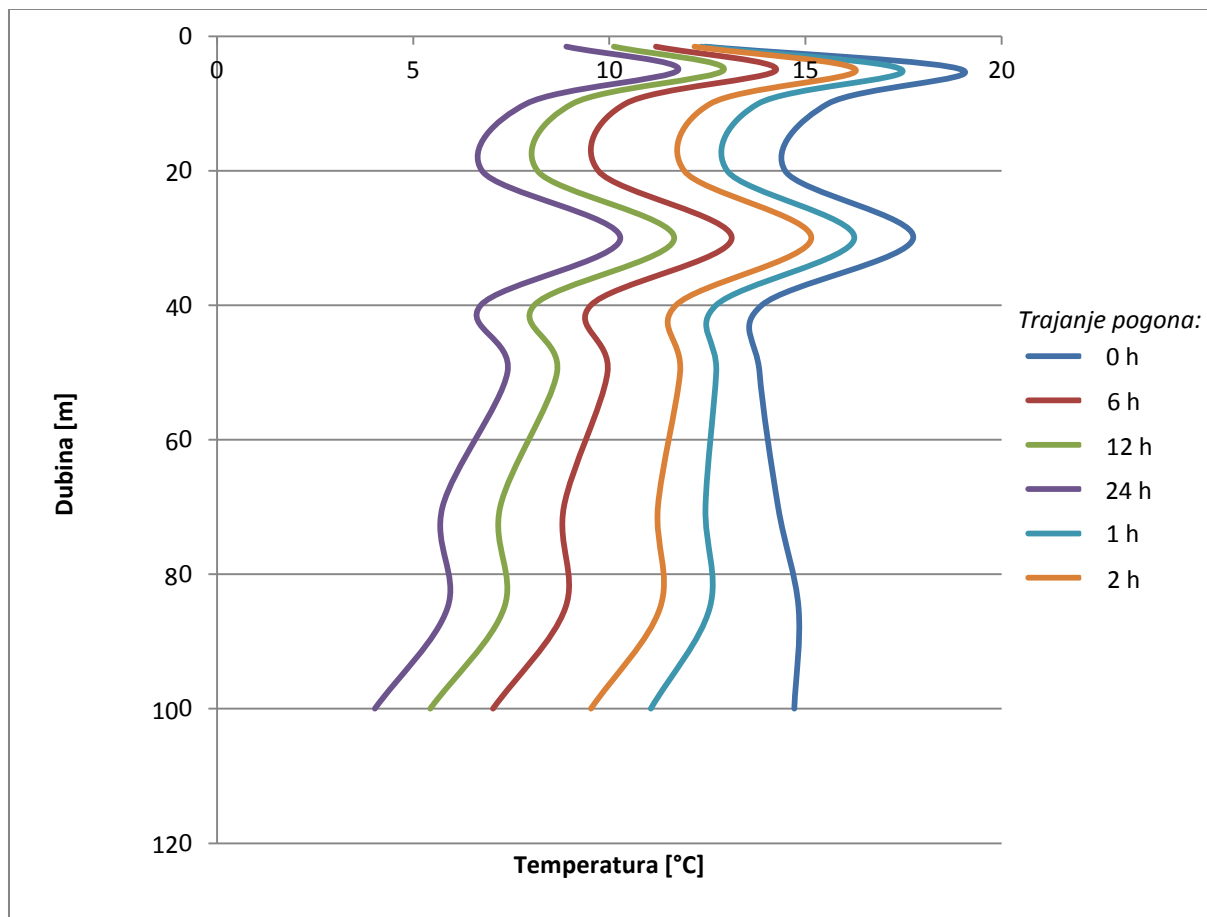
primjetiti tendencija opadanja temperature tla po cijeloj visini (dubini) bušotine. Krivulja s početka mjerenja (0 h) se pomiče prema lijevom kraju dijagrama u područje nešto nižih vrijednosti temperatura. U prvih 24 sata rada primjetan je najveći pad temperature u svim karakterističnim točkama gdje su postavljeni temperaturni osjetnici. U narednim satima pogona brzina promjene temperature će biti postupno sve manja. Temperatura tla na 100 metara dubine na početku mjerenja iznosi 14,72 °C, nakon prvih 24 sata 4,27 °C, a na kraju iznosi oko 2,2 °C. To predstavlja ukupan pad temperature od 12,52 °C. U prvih 24 sata pad temperature, u odnosu na ukupan pad, iznosi 83,5 %; a ostatak od 16,5% predstavlja pad temperature u sljedećih 288 sati pogona dizalice topline.

Na dubini između 1,5 i 5 metara vidljiv je porast temperature. Razlog tome je utjecaj vanjske temperature na temperaturu tla. Porast temperature tla se primjećuje na dubini između 20 i 30 metara. Uzrok je blizina rijeke Save i njezine podzemne vode čija se temperatura vrlo malo mijenja tokom godine.



Slika 2.3. Temperaturni profili bušotine kroz 312 sati kontinuiranog pogona

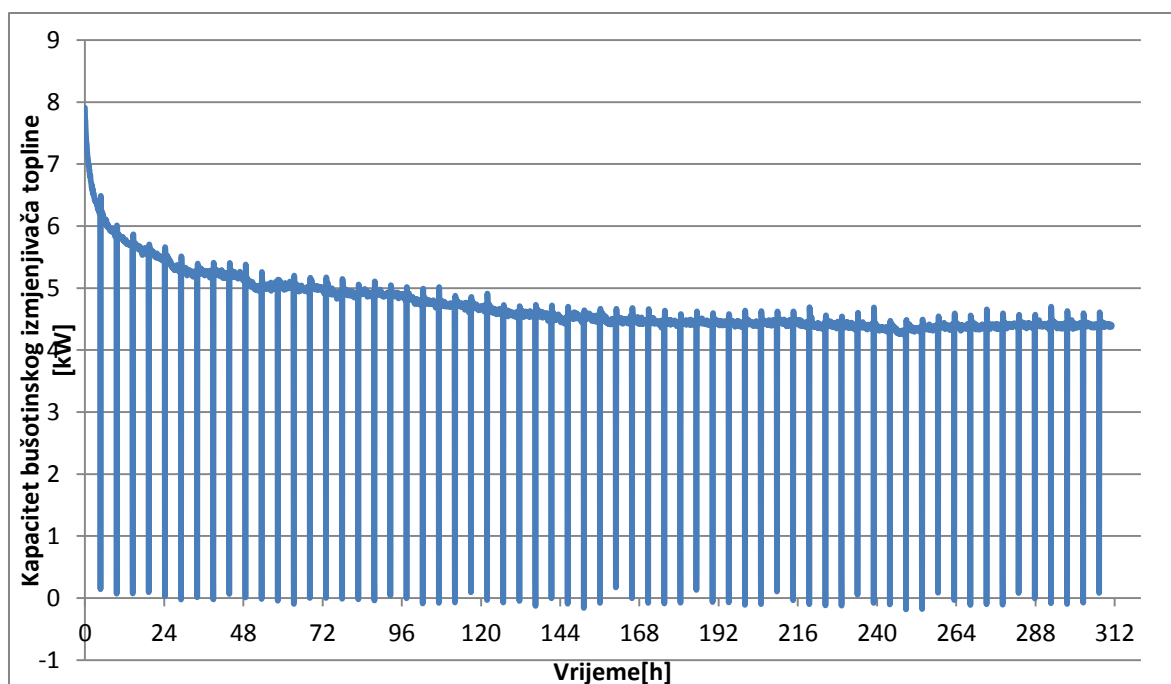
Zbog boljeg i detaljnijeg prikaza promjene temperaturnog profila tla unutar prvih 24 sata pogona, dana je slika 2.4. Svi zaključci iz prethodne slike vrijede i za ovu.



Slika 2.4. Temperaturni profili bušotine kroz 24 sata kontinuiranog pogona

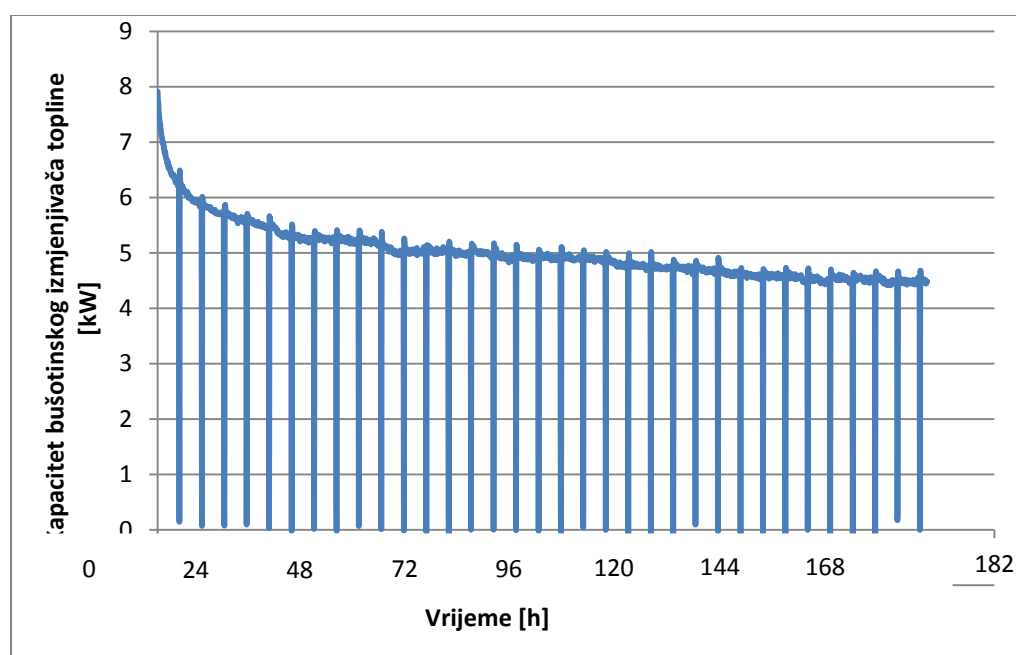
2.3. Kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline

Slika 2.5. prikazuje zavisnost kapaciteta bušotinskog izmjenjivača topline o vremenu trajanja pogona dizalice topline. U prvih 24 sata rada uočava se značajniji pad kapaciteta; u odnosu na ostatak promatranog 10-o dnevnog razdoblja. Na samom početku pogona taj iznos je 7,91 kW, da bi sljedeći dan u isto vrijeme on iznosio 5,45 kW. Nakon 312 sati neprekinutog rada u režimu grijanja, kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline je iznosio 4,4 kW. Možemo uočiti padove kapaciteta izmjenjivača u pravilnim vremenskim intervalima. Uzrok tome je automatski namješteno isključivanje kompresora iz pogona. Kompresor biva isključen putem automatske regulacije svakih 5 sati u trajanju od 5 minuta s ciljem zaštite sustava i sprječavanja kvara.



Slika 2.5. Kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline

S ciljem još detaljnijeg proučavanja promjene kapaciteta bušotinskog izmjenjivača topline, odabran je vremenski period za prvih 7 dana kontinuiranog rada – 168 sati, slika 2.6. Razlog ovakvom odabiru je taj što se primjećuje da, nakon otprilike 150 sati rada, iznos kapaciteta poprima vrijednost (oko 5,5 kW) koja vrlo malo oscilira u daljnjem radu. Ostalo je sve isto kao i na prethodno objašnjenjenu slici.



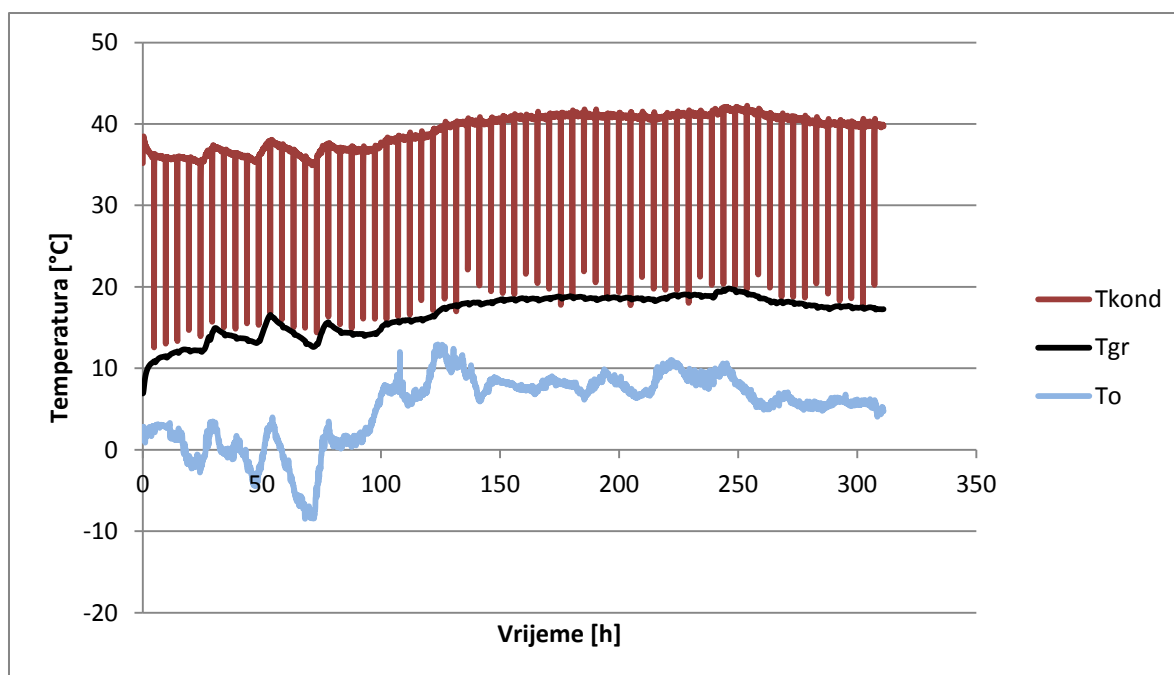
Slika 2.6. Kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline

2.4. Temperatura kondenzacije, grijanog prostora i vanjska temperatura

Slika 2.7. prikazuje promjenu temperature kondenzacije radne tvari tokom rada dizalice topline. Promatrani period je 10 dana kontinuiranog pogona. Vidljivo je da unutar prvih 100 sati rada postoje oscilacije temperature. U tom periodu iznos temperature kondenzacije poprima najveću vrijednost oko 54-tog sata rada, te iznosi 38,05 °C. Nakon 100-tog sata vrijednosti temperature počinju kontinuirano rasti postići maksimalnu vrijednost u iznosu od 42,1 °C (250 sati rada). Od tada, pa do kraja pogona, iznos temperature počinje kontinuirano padati do vrijednosti od 39,7 °C. Skokoviti padovi temperature posljedica su automatskog isključivanja pogona dizalice topline svakih 5 sati u trajanju od 5 minuta.

Provedeno ispitivanje rađeno je po zimi, 12. mjesec, pa je bilo i za očekivati da će dnevne i noćne temperature biti relativno niske. Dnevni hod vanjske temperature prikazuje svjetlo plava linija na slici 2.7. Prvih 72 sata (3 dana) od puštanja u pogon dizalice topline, vanjska temperatura je dosta oscilirala oko 0 °C prelazeći iz pozitivnih u negativne vrijednosti i obrnuto. Unutar tog intervala zabilježena je i najniža njena vrijednost u iznosu od -8,4 °C. Do kraja rada dizalice topline vanjska temperatura bila je cijelo vrijeme pozitivna sa srednjom vrijednošću oko 8 °C. Najveća zabilježena njena vrijednost je 12,7 °C.

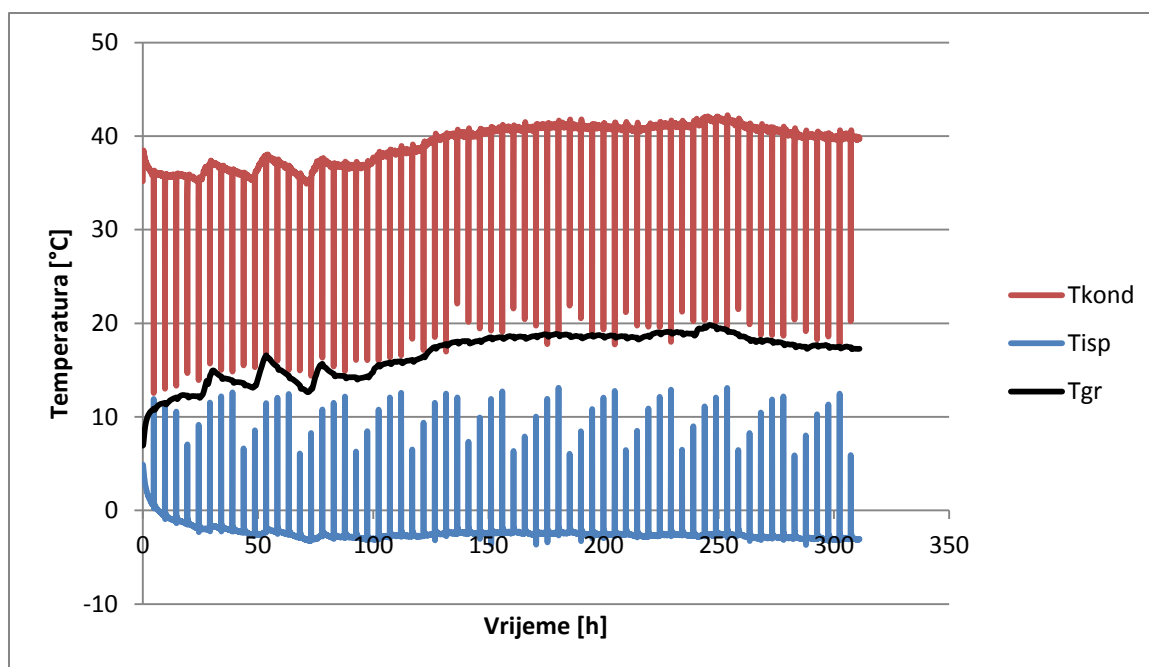
Crna linija na dijagramu označava temperaturu grijanog prostora laboratorija u kojem je smještena ispitna dizalica topline. Zgrada laboratorija, izgrađena od armiranog betona, nije izolirana. Zbog toga su po zimi prisutni veliki toplinski gubici. Primjer tome daje podatak da tokom grijanja prostora unutarnja temperatura nije prelazila vrijednost od 18 °C (samo je na kratko dosegla 20°C), dok se istovremeno temperatura kondenzacije kretala oko 41°C – što je razlika od 23°C. Inače, vidljivo je da se linija temperature grijanog prostora i linija temperature kondenzacije gotovo pa idealno poklapaju. Temperaturna razlika između tih dviju vrijednosti se konstantno kreće oko 23 °C.



Slika 2.7. Temperatura kondenzacije, grijanog prostora i vanjskog okoliša

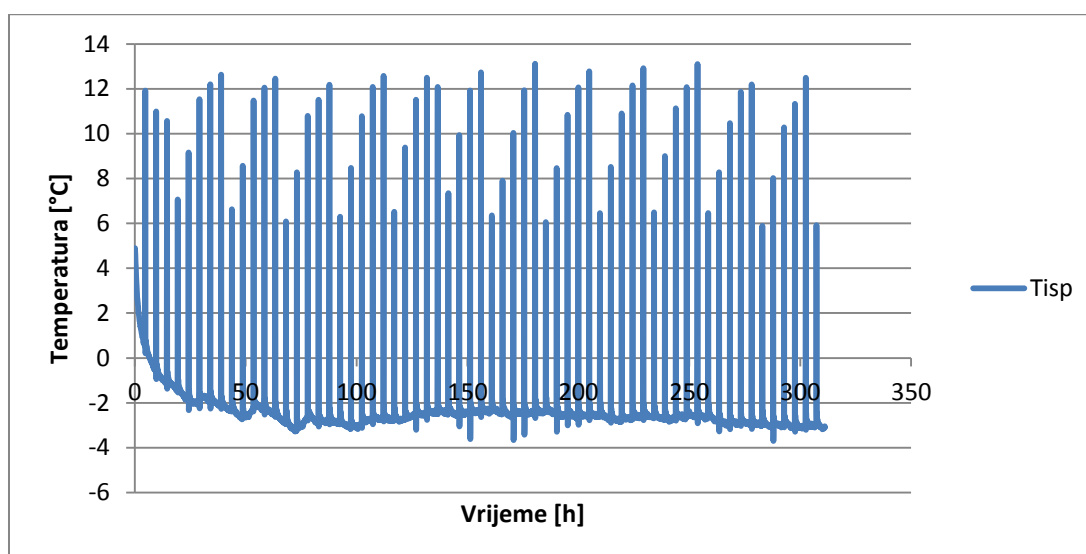
2.5. Temperatura kondenzacije, isparivanja i grijanog prostora

Na slici 2.8. se dobro vidi promjena temperature isparivanja radne tvari kroz vremenski period od 312 sati rada. Vidljivo je da temperatura naglo pada unutar prvih 25 sati. Nakon toga trend smanjivanja temperature postaje nešto sporiji. Do prvih 100 sati rada primjećujemo oscilaciju temperature, odnosno njen porast oko 30-tog, 55-tog i 80-tog sata. Ako usporedimo liniju promjene temperature isparivanja s linijom promjene temperature kondenzacije, jasno je da je porast temperature isparivanja usko povezan s porastom temperature kondenzacije. Temperatura isparivanja na samom početku je iznosila 4,9 °C. Nakon 25 sati vrijednost joj se smanjila na -2,32 °C. Najniža postignuta vrijednost u radu je -3,27 °C nakon 72 sata. Na kraju pogona se temperatura ustabilila na oko -3,1 °C. Temperaturna razlika između temperature kondenzacije i isparivanja na samom početku je iznosila oko 30 °C, da bi za samo 2 sata rada već iznosila 35 °C. Do 125-tog sata pogona razlika je blago rasla da bi, od 125-tog sata, pa do kraja pogona, ta razlika iznosila oko 42 °C.



Slika 2.8. Temperatura kondenzacije, isparivanja i grijanog prostora

Zbog boljeg praćenje promjene temperature isparivanja, dana je slika 2.9., gdje se dobro vide temperaturni skokovi malo prije opisani u tekstu. Nakon 100-tog sata pogona temperatura isparivanja počinje blago rasti s vrijednosti -3°C na vrijednost oko $-2,5^{\circ}\text{C}$. Ta vrijednost ostaje približno konstantna sljedećih 150 sati pogona. Poslije 250-tog sata, pa do kraja pogona, temperatura isparivanja blago pada i kreće se oko -3°C . Istovremeno, temperatura kondenzacije se ponaša na sličan način, a vrijednosti koje pri tome postiže, opisane su u poglavlju 2.4.

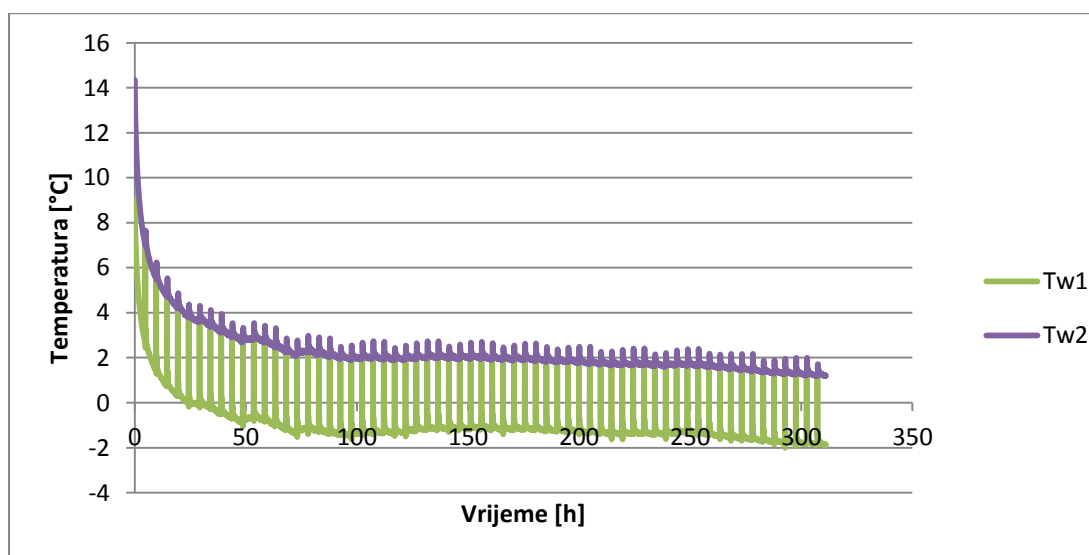


Slika 2.9. Temperatura isparivanja

2.6. Temperatura polaza i povrata glikolne smjese

Slika 2.10. prikazuje usporedno promjene temperatura polaza (T_{w1}) i povrata (T_{w2}) glikolne smjese. Glikolna smjesa, za vrijeme pogona režima grijanja, cirkulira kroz bušotinski izmjenjivač topline i uvodi se u koaksijalni izmjenjivač topline (isparivač) gdje predaje toplinu radnoj tvari potrebnu za njeno isparivanje. Temperatura polaza je uvijek veća od temperature povrata. Temperaturna razlika između polaza i povrata u početku je nešto veća i iznosi oko 5 °C, ali vrlo brzo se ta razlika smanjuje i stacionira na vrijednost oko 3 °C.

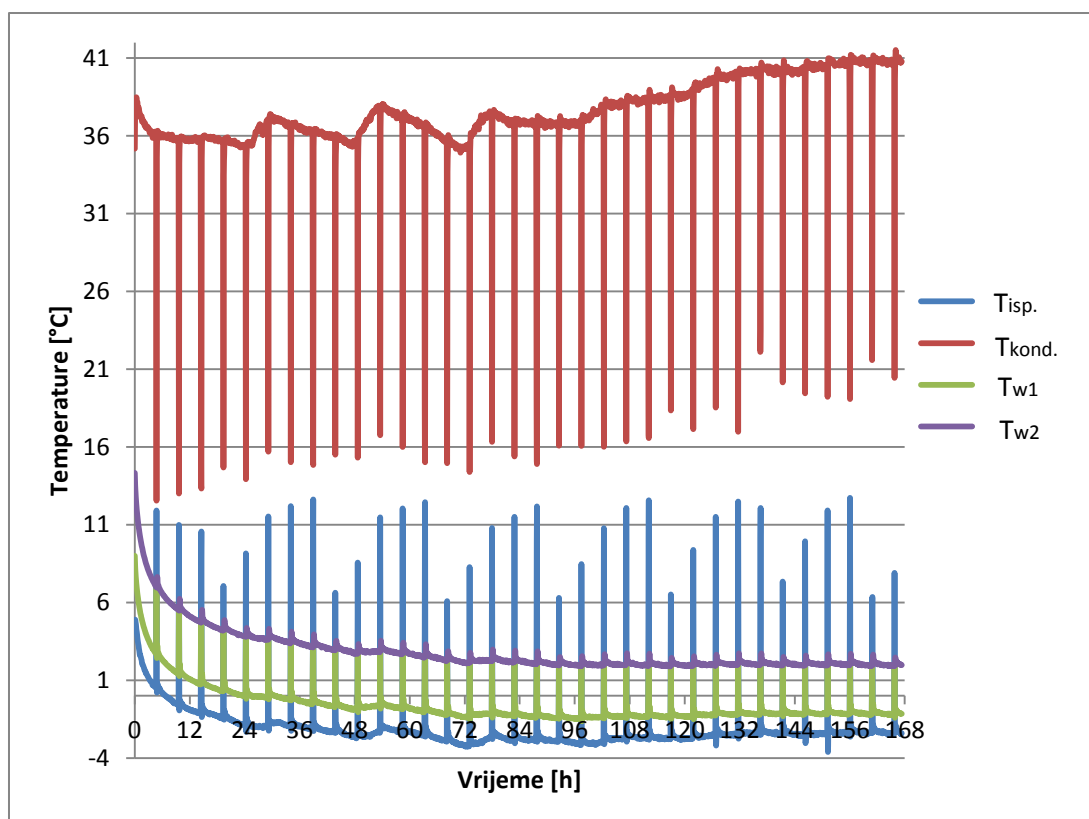
Na početku je temperatura polaza 14,4 °C, a na kraju iznosi 1,19 °C. Temperatura povrata na početku iznosi 9 °C, a na kraju -1,89 °C. Iz pozitivne u negativnu vrijednost prelazi nakon 26 sati rada.



Slika 2.10. Temperatura polaza i povrata glikolne smjese

2.7. Temperatura kondenzacije, isparivanja, polaza i povrata glikolne smjese

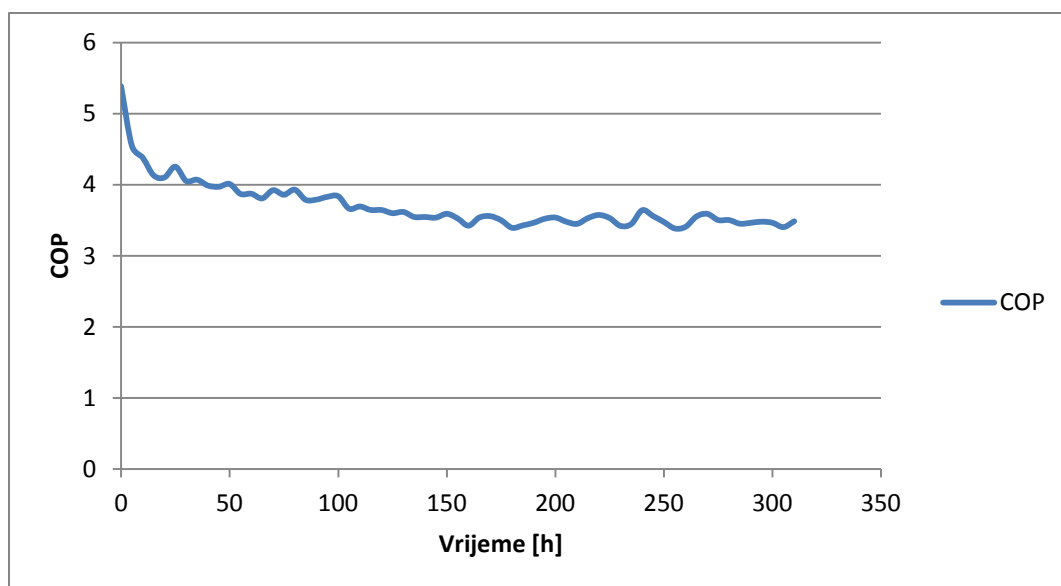
Slika 2.11. objedinjuje sve tri prethodne slike s prikazom promjene temperature kondenzacije i isparivanja radne tvari, te temperature polaza i povrata glikolne smjese. Ovdje promatrano razdoblje iznosi 168 sati, odnosno 7 dana kontinuiranog rada. Razdoblje od 168 sati je odabrano zbog toga što se unutar prvih 50 sati rada događaju najbrže promjene praćenih parametara. Nakon toga vrijednosti im se ustaljuju i vrlo malo mijenjaju. Izuzev temperature kondenzacije gdje »smirivanje« promjene nastupa nešto kasnije – oko 150-tog sata.



Slika 2.11. Temperatura kondenzacije, isparivanja, polaza i povrata glikolne smjese

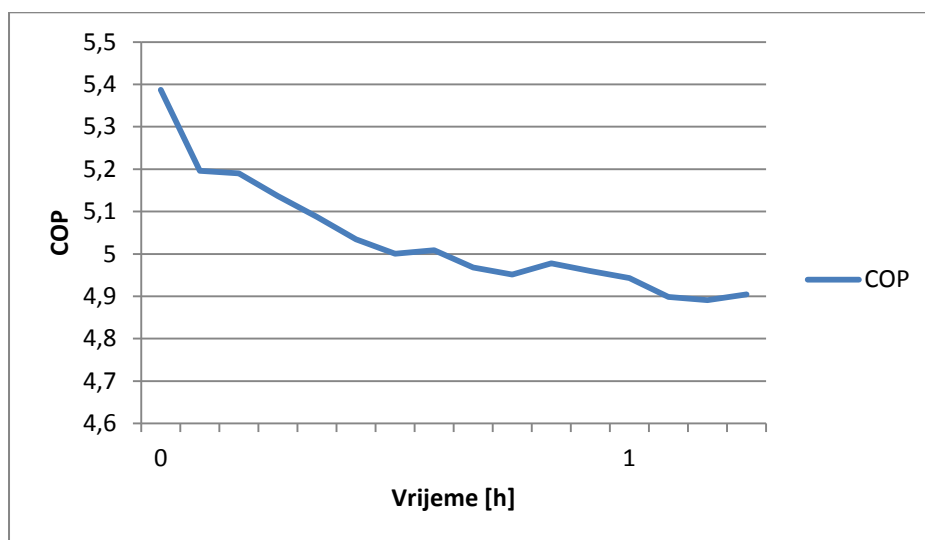
2.8. Faktor grijanja (engl. Coefficient Of Performance – COP)

Dijagram na slici 2.12. prati promjenu vrijednosti faktora grijanja kroz 312 sati rada dizalice topline. U prvih 25 sati rada primjetan je strmoglavi pad vrijednosti od 5,4 na 4,2 što je razlika od 22% u odnosu na početnu vrijednost. Razlog tako brzog promjeni vrijednosti je povećanje temperaturne razlike između temperature kondenzacije i isparivanja. Brzina promjene navedene temperaturne razlike i vrijednosti koje je pri tome postizala, opisani su u poglavlju 2.5. Od 25-tog, pa do 150-tog sata, vrijednost faktora grijanja blago pada na vrijednost 3,5. Do kraja pogona njegova vrijednost blago oscilira oko 3,5 s amplitudom oko 0,1.



Slika 2.12. Faktor grijanja (COP)

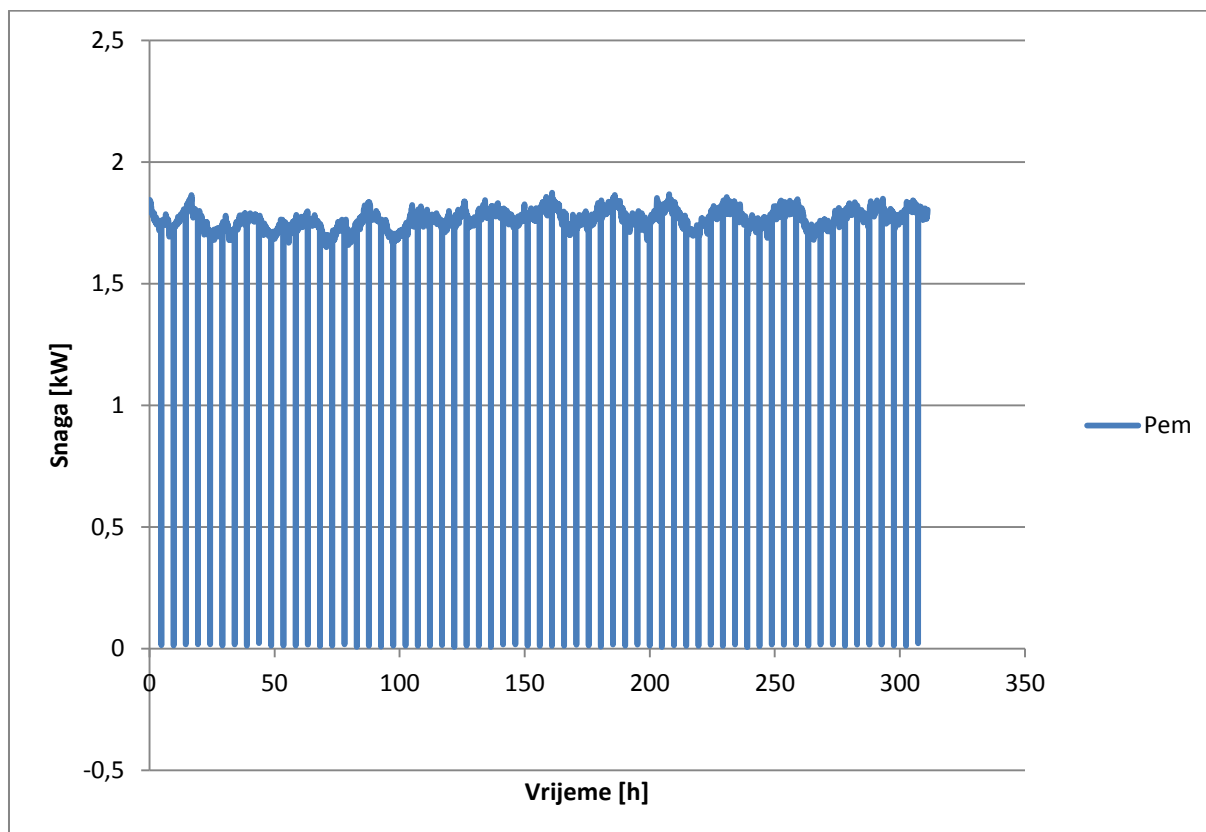
Brzina promjene vrijednosti faktora grijanja unutar prvi sat vremena rada prikazana je dijagramom na slici 2.13. Za samo sat vremena vrijednost se smanji za 0,5; od 5,4 na 4,9.



Slika 2.13. Faktor grijanja (COP)

2.9. Snaga elektromotora kompresora

Snaga elektromotora kompresora se tokom rada nije značajnije mijenjala, kao što se vidi na slici 2.14. Njena vrijednost se kreće od 1,73 do 1,76 kW. Dijagram prikazuje pad snage na nulu u pravilnim razmacima, svakih 5 sati u trajanju od 5 minuta, a to znači da je elektromotor bio isključen radi zaštite od preopterećenja ili pregrijavanja što bi moglo uzrokovati njegov kvar.



Slika 2.14. Snaga elektromotora kompresora

3. DIZALICA TOPLINE

Na slici 3.1. prikazana je dizalica topline voda – zrak s mjernom opremom, tipa Carrier RHE 036, smještena u ispitnom Labaratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Pričvršćena je pomoću dva konzolna L-profila na unutarnjoj strani južnog zida na visini oko 2,5 metara. Između nje i konzola su gumene, antivibracijske podloške radi ublažavanja i sprječavanja širenja vibracija koje nastaju radom kompresora. Oplata dizalice topline izrađena je iz pocinčanog lima debljine 1 mm. Dijelovi oplata međusobno su spojeni vijcima za lim duljine 5mm.

Dana 26.6.2013. izvršena je demontaža oplata radi bolje dostupnosti kondenzatora, isparivača, kompresora, termoekspanzijskog ventila i ostalih dijelova. Pregledom navedenih dijelova dobiven je bolji uvid u njihovo stvarno stanje, te su uzete njihove gabaritne mjere. Duljina oplata dizalice topline je 1350 mm, širine 550 mm i visine 500mm. Kondenzator je duljine 560 mm, visine 460 mm i širine 65. Izrađen je od tri reda paralelno napajanih bakrenih cijevi, dimenzija 10x1 mm. Postupkom uprešavanja na njih su postavljene lamele iz tankog aluminijskog lima. Kondenzator je hlađen zrakom koji struji preko njega, potpomognut vrtnjom ventilatora. Taj zrak se zagrijava i predaje toplinu prostoriji. Isparivač je u izvedbi koaksijalnog izmjenjivača topline. U središnjoj cijevi struji glikolna smjesa, a između nje i druge veće cijevi struji radna tvar R407C. Glikolna smjesa preuzima toplinu iz tla (bušotinski izmjenjivač topline) i predaje je radnoj tvari koja isparava. Da ne bi došlo do kondenzacije vlage iz zraka i preuzimanja topline iz okoliša, isparivač je obložen izolacijom »Armaflex«. Izolacija također ima ulogu parne brane, sprječavajući prodor vlage u izolaciju, slika 3.2.



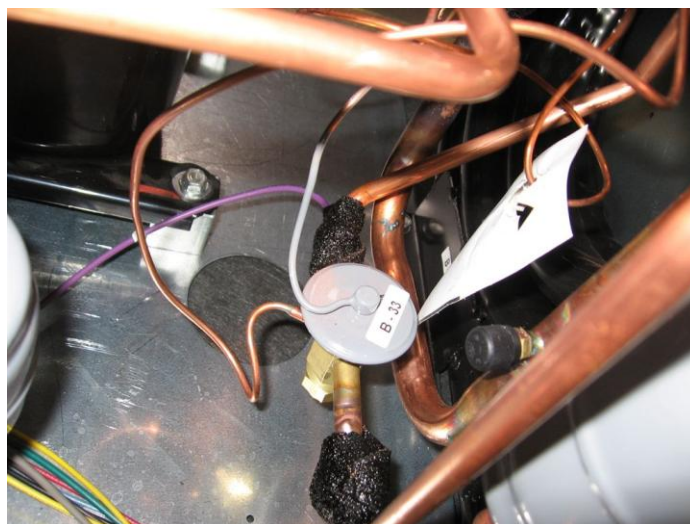
Slika 3.1. Dizalica topline s mjernom opremom



Slika 3.2. Kondenzator s paralelno napajanim cijevima i isparivač (bez izolacije)

Kompresor je napravljen u hermetičkoj izvedbi u obliku kalote, visine oko 330 mm. Na podnicu je pričvršćen preko antivibracijskih podloški uz pomoć četiri vijka. Cjevovod na usis u kompresor je 16x1 mm, a na tlačnoj strani je 10x1 mm. Cjevovod je izrađen od bakra.

Termoelekspanzijski ventil je u izvedbi s vanjskim izjednačenjem tlaka - TEVV, slika 3.3.



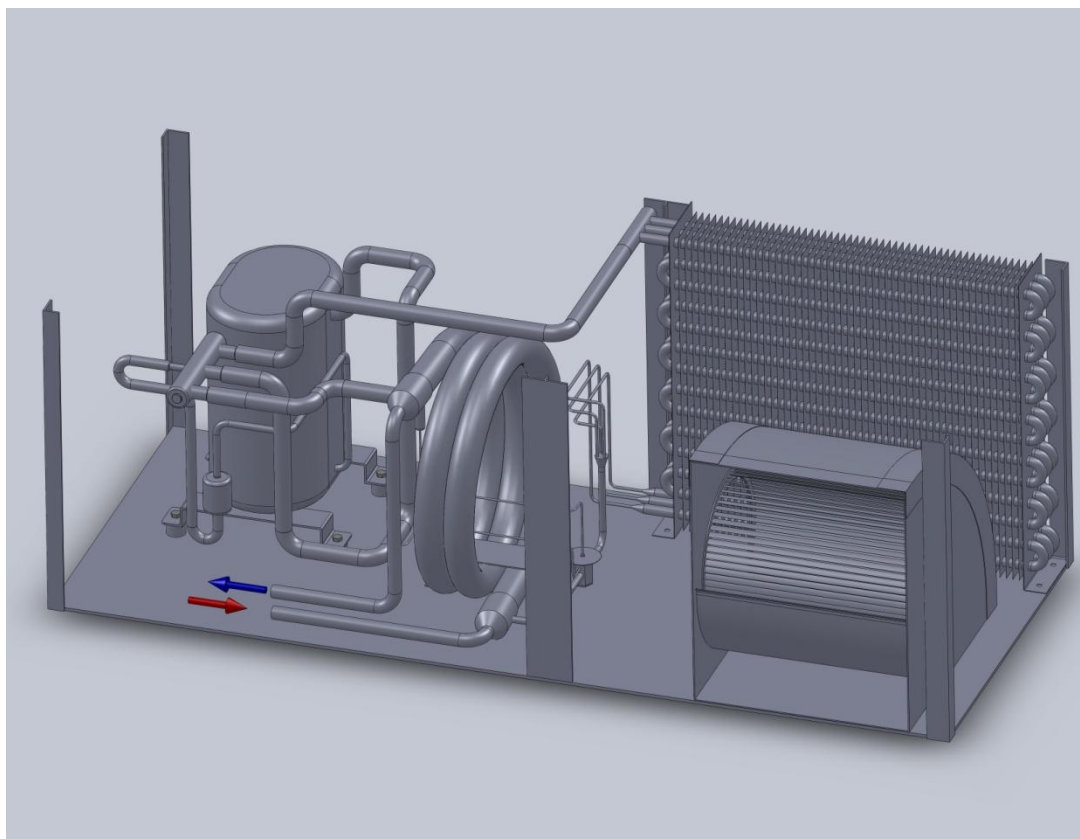
Slika 3.3. Termoelekspanzijski ventil, TEVV

Prekretni ventil, slika 3.4., ima funkciju preokretanja uloge isparivača i kondenzatora. Isparivač postaje kondenzator i obrnuto, ovisno o tome želimo li da dizalica topline radi u režimu grijanja ili hlađenja. U našem slučaju, radila je u režimu grijanja. Klizač u prekretnom ventilu se pomiče lijevo ili desno, uz pomoć elektromagnetne kotve, i tako preusmjerava protok radne tvari.

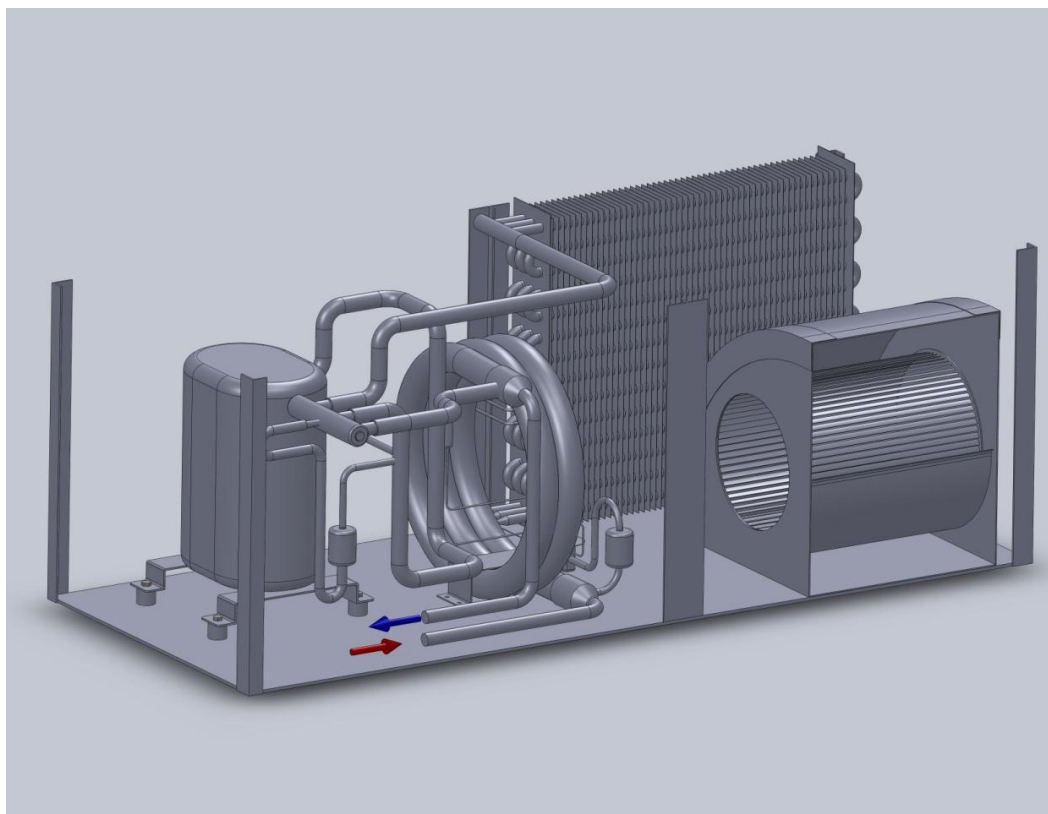


Slika 3.4. Prekretni ventil

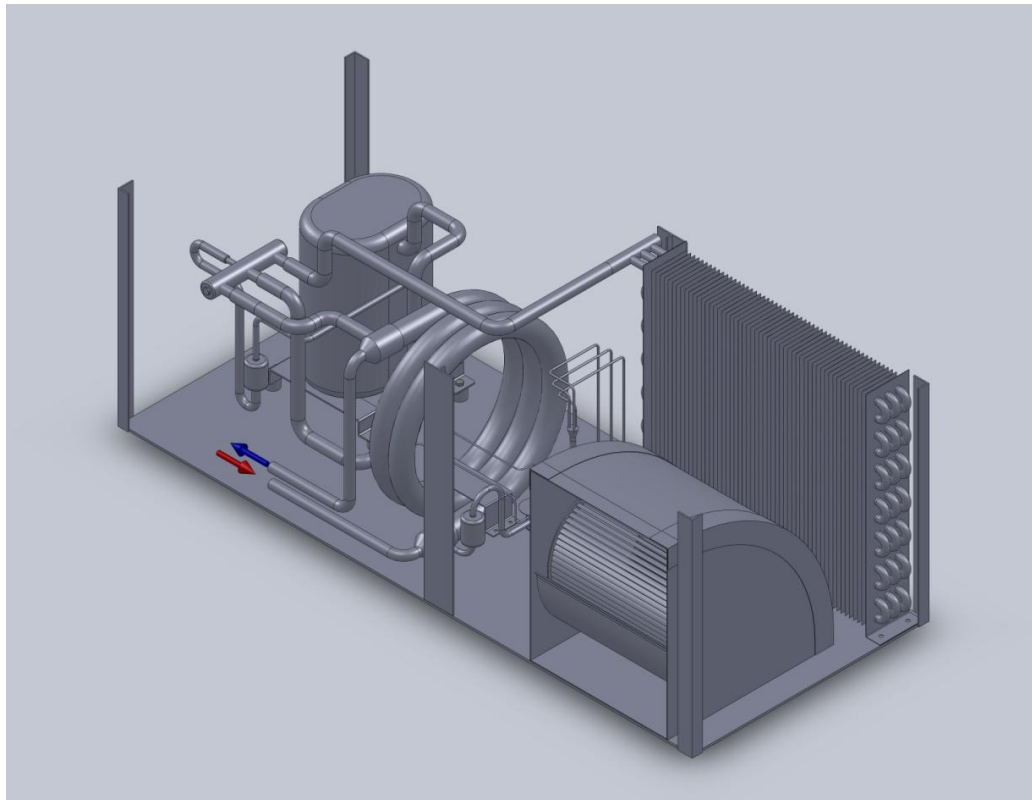
Na temelju viđenog i izmjerenog, napravljen je izometrijski crtež dizalice topline u 3D programu »SolidWorks 2010«. Crvena i plava strelica na crtežu označavaju smjer polaza i povrata glikolne smjese u ispitnu bušotinu.



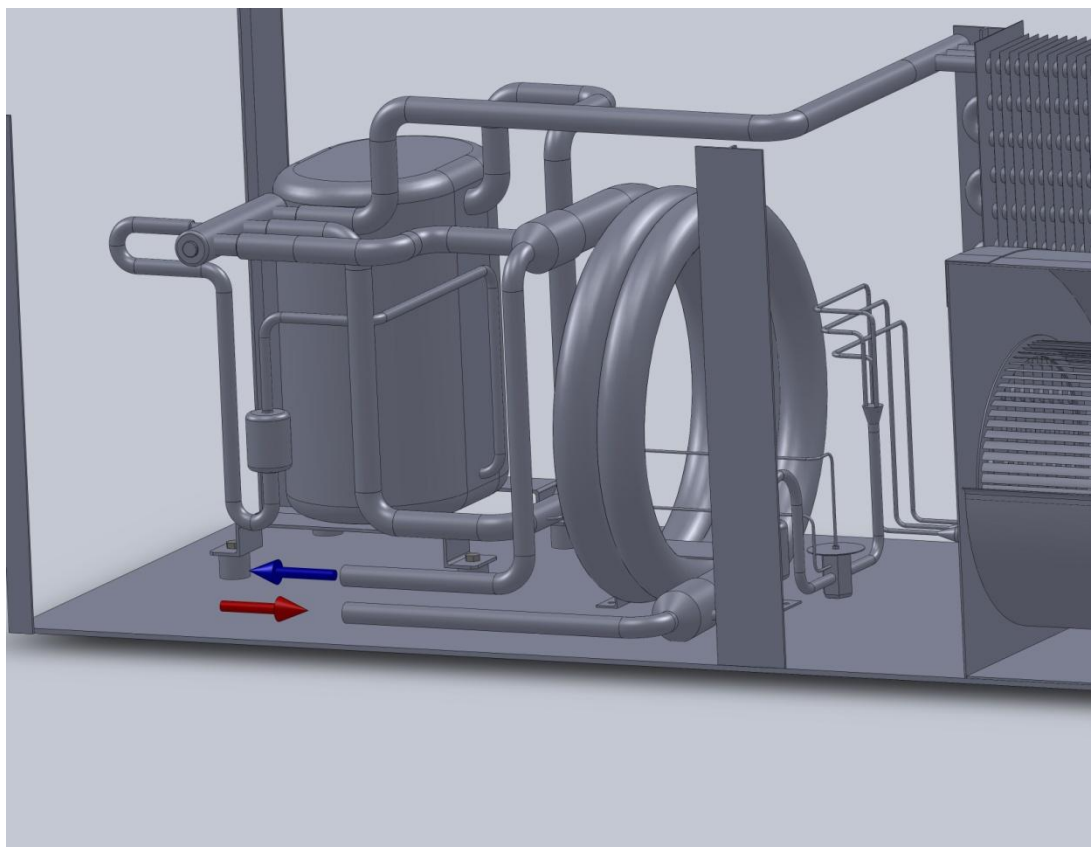
Slika 3.5. Izometrijski crtež, broj 1.



Slika 3.6. Izometrijski crtež, broj 2.



Slika 3.7. Izometrijski crtež, broj 3.



Slika 3.8. Izometrijski crtež, broj 4.

4. SHEMA SPAJANJA I AUTOMATSKE REGULACIJE UREĐAJA

4.1. Princip rada automatske regulacije za režim grijanja

Termostat, T, je smješten unutar grijanog prostora u kojem se želi održavati temperatura od 20 °C. Postizanjem željene vrijednosti unutarnje temperature, termostat šalje signal prema regulatoru. Regulator zatim šalje signal ventilu s motornim pogonom za njegovo zatvaranje. Ventil svojim zatvaranjem zatvara protok radne tvari dalje prema isparivaču. Kompresor za to vrijeme i dalje radi, a tlak u isparivaču počinje padati. Kad tlak padne ispod neke namještene vrijednosti, presostat niskog tlaka PNT, šalje signal regulatoru koji isključuje elektromotor kompresora. Padom temperature u prostoru, termostat šalje povratnu informaciju prema regulatoru, a on daje signal ventilu s motornim pogonom za njegovo otvaranje i protok radne tvari. Porastom tlaka u isparivaču, presostat niskog tlaka šalje signal prema regulatoru koji uključuje pogon kompresora.

Presostat visokog tlaka, PVT, ima sigurnosnu funkciju. Uslijed skupljanja čestica prašine i razne nečistoće, između lamela kondenzatora, dolazi do povećanja temperature kondenzacije, a time i do povećanja tlaka kondenzacije. Porastom tlaka kondenzacije kompresor mora tlačiti radnu tvar na veći tlak. Time raste i kompresijski omjer za koji želimo da bude između 3-5. Ukoliko dođe do daljnjeg porasta tlaka kondenzacije, odnosno kompresijskog omjera, PVT preko regulatora šalje signal elektromotoru i on se isključuje iz pogona. Za razliku od PNT-a, koji se sam »resetira«, kod PVT-a to mora napraviti čovjek nakon izvršenog servisa ,jer padom tlaka PVT neće preko regulatora ponovno uključiti kompresor u pogon.

Diferencijalni presostat, DP, služi za mjerenje razlike tlaka ulja za podmazivanje unutar kompresora. Njegova uloga je da štiti kompresor od gubitka tlaka u sustavu podmazivanja i njegovog zaribavanja.

Termoekspanzijski ventil s vanjskim izjednačenjem tlaka, TEVV, održava konstantnu temperaturu pregrijanja u odnosu na stanje na izlazu iz isparivača. Koristi se tamo gdje postoje veći hidraulički otpori trenja unutar isparivača, odnosno veći pad tlaka. Ima utjecaj na smanjenje temperature na kraju kompresije.

Kontrolno staklo služi za indikaciju vlage u radnoj tvari. Zelena boja indicira da nema vlage, dok žuta boja ukazuje na njeno prisustvo.

Nepovratni ventil sprječava da dođe do cirkulacije glikolne smjese u suprotnom smjeru kad je pumpa isključena. Stvaranje prirodne cirkulacije leži na termosifonskom principu, razlika gustoća.

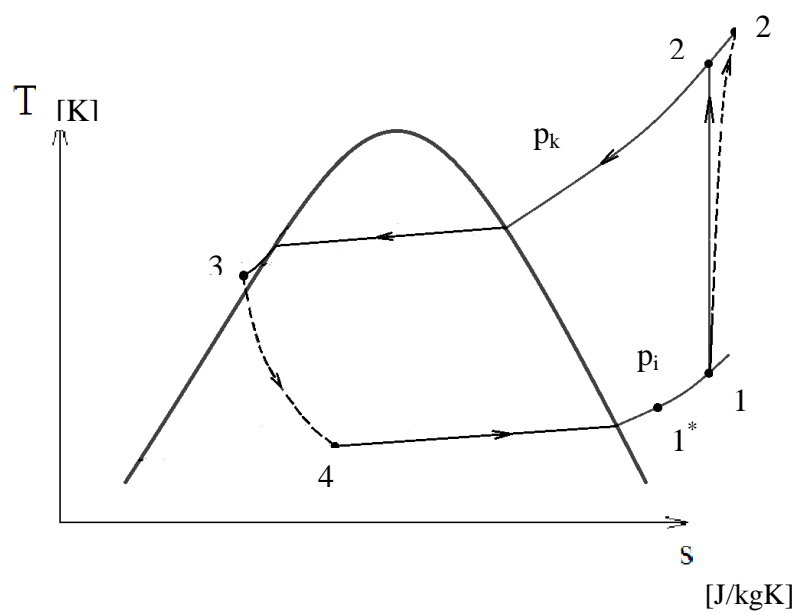
Termoekspanzijska posuda osigurava da ne dođe do prekoračenja dopuštenog tlaka radnog fluida, glikolne smjese. Također održava radni tlak konstantnim.

U prilogu je dan crtež kompletne sheme spajanja i regulacije uređaja sa svim navedenim elementima.

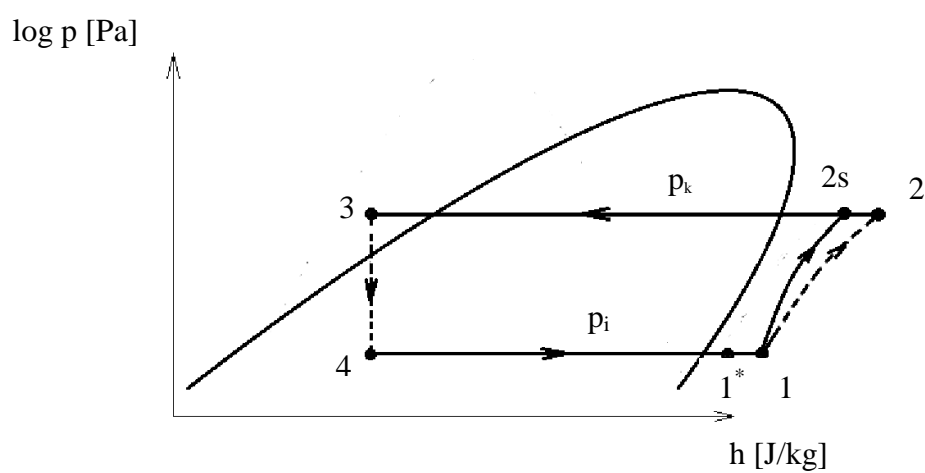
4.2. Određivanje unutarnjih promjera glavnih dionica cjevovoda, nazivnog učina isparivača i kondenzatora, te snage kompresora

Zadani podatci:

- radna tvar: R407C (zeotropska smjesa)
- kapacitet bušotinskog izmjenjivača topline: $\Phi_{BIT} = 4,95 \text{ kW}$
- temperatura grijanog prostora: $\vartheta_{prost.} = 20^\circ \text{C}$
- temperatura kondenzacije: $\vartheta_{kond.} = 35^\circ \text{C}$
- temperatura isparivanja: $\vartheta_{isp.} = -5^\circ \text{C}$
- temperatura pregrijanja radne tvari: $\Delta \vartheta_{preg.} = -5^\circ \text{C}$
- temperatura pothlađenja vrele kapljevine: $\Delta \vartheta_{preg.} = 6^\circ \text{C}$
- temperatura povrata glikolne smjese: $\vartheta_{w1} = -1^\circ \text{C}$
- temperatura polaza glikolne smjese: $\vartheta_{w2} = 2,45^\circ \text{C}$
- brzina strujanja radne tvari u usisnom dijelu cjevovoda: $v_1 = 10 \text{ m/s}$
- brzina strujanja radne tvari u tlačnom dijelu cjevovoda: $v_1 = 12 \text{ m/s}$
- brzina strujanja radne tvari u kapljevinskom dijelu cjevovoda: $v_1 = 0,7 \text{ m/s}$
- volumenski protok glikolne smjese: $q_{vg} = 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$
- brzina strujanja glikolne smjese: $v_g = 2 \text{ m/s}$



Slika 4.1. T,s dijagram



Slika 4.2. log p, h dijagram

Tablica 4.1. Radne točke procesa [9]

	ϑ [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]
1*	3	4,213	412	1,825
1	13	4,213	422	1,865
2s	63	14,39	456	1,865
2	65	14,39	467,33	
3	24	14,39	235,42	
4	-8	4,213	235,42	

Točke naznačene u dijagramima na slikama 4.1. i 4.2. odgovaraju točkama označenim u tablici 4.1. Točka 1* označava stanje pregrijane radne tvari na izlazu iz isparivača. Točka 1 označava pregrijanu radnu tvar po izlasku iz namotaja elektromotora gdje se zagrijava za još 10 °C.

- Izentropski stupanj djelovanja, jednadžba 1.6; promjena stanja radne tvari od točke 1 do točke 2 naznačeno u dijagramima na slikama 4.1. i 4.2.

$$\eta_{s,komp} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = 0,75 \quad (1.6)$$

Entalpija stanja 2 se dobije iz jednadžbe 1.6 nakon što smo očitali ostale podatke; jednadžba 1.6*

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{0,75} + h_1 = \frac{456 - 422}{0,75} + 422 = 467,33 \text{ kJ/kg} \quad (1.6^*)$$

Učin isparivača, jednak je učinku bušotinskog izmjenjivača topline, jednadžba 1.7.

$$\Phi_{isp} = \Phi_{BIT} = 4,95 \text{ kW} = \dot{m}_{RT} \cdot (h_1^* - h_4) \quad (1.7)$$

Maseni protok radne tvari, jednadžba 1.8.

$$\dot{m}_{RT} = \frac{\Phi_{isp}}{h_1^* - h_4} = \frac{4,95}{412 - 235,42} = 0,028033 \text{ kg/s} \quad (1.8)$$

Učin kondenzatora, jednadžba 1.9.

$$\Phi_{kond} = \dot{m}_{RT} \cdot (h_2 - h_3) = 0,028033 \cdot (467,33 - 235,42) = 6,5 kW \quad (1.9)$$

Snaga kompresora, jednadžba 1.10

$$P_{komp} = \dot{m}_{RT} \cdot (h_2 - h_1) = 0,028033 \cdot (467,33 - 422) = 1,271 kW \quad (1.10)$$

- Određivanje promjera glavnih dionica cjevovoda:

Usisni dio cjevovoda:

- gustoća radne tvari na usisu u kompresor (stanje 1)

$$\rho_1 = \frac{1}{v_1} = \frac{1}{0,059} = 16,95 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{iznos } v_1 \text{ očitano iz log p,h dijagrama})$$

- volumenski protok radne tvari računa se prema jednadžbi 1.11

$$q_{vr1} = \frac{\dot{m}_{RT}}{\rho_1} = \frac{0,028033}{16,95} = 0,001654 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1.11)$$

- za volumenski protok također vrijedi, jednadžba (1.12)

$$q_{vr1} = v_1 \cdot A_1 \quad (1.12)$$

- iz jednadžbe 1.12 se računa površina poprečnog presjeka cijevi, jednadžba (1.13)

$$A_1 = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} = \frac{q_{vr1}}{v_1} = \frac{0,001654}{10} = 0,0001654 \text{ m}^2 \quad (1.13)$$

- unutarnji promjer cjevovoda, jednadžba (1.14)

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0001654}{\pi}} = 0,0145 \text{ m} = 1,45 \text{ cm} = 14,5 \text{ mm} \quad (1.14)$$

Odabrana standardna dimenzija cjevovoda je: Cu 16x1mm [10]; vidi shemu spajanja.

NAPOMENA:

Daljnji proračun tlačnog i kapljevinskog promjera cjevovoda temelji se na identičnim jednadžbama koje su korištene pri određivanju promjera usisnog cjevovoda.

Tlačni dio cjevovoda:

- gustoća radne tvari na izlazu iz kompresora (stanje 2)

$$\rho_2 = \frac{1}{v_2} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{iznos } v_2 \text{ očitano iz log p,h dijagrama})$$

- volumenski protok radne tvari

$$q_{vr2} = \frac{\dot{m}_{RT}}{\rho_2} = \frac{0,028033}{50} = 0,000561 \text{ m}^3/\text{s}$$

- za volumenski protok također vrijedi

$$q_{vr2} = v_2 \cdot A_2$$

- površina poprečnog presjeka cijevi

$$A_2 = \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4} = \frac{q_{vr2}}{v_2} = \frac{0,000561}{12} = 0,0000467 \text{ m}^2$$

- unutarnji promjer cjevovoda

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0000467}{\pi}} = 0,00771 \text{ m} = 0,771 \text{ cm} = 7,71 \text{ mm}$$

Odabrana standardna dimenzija cjevovoda je: Cu 10x1mm [10]

Kapljevinski dio cjevovoda:

- gustoća radne tvari na izlazu iz kondenzatora (stanje 3)

$$\rho_3 = \frac{1}{v_3} = \frac{1}{0,0009558} = 1046,2 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{iznos } v_3 \text{ očitán iz [9]})$$

- volumenski protok radne tvari

$$q_{vrt3} = \frac{\dot{m}_{RT}}{\rho_3} = \frac{0,028033}{1046,02} = 0,0000268 \text{ m}^3/\text{s}$$

- za volumenski protok također vrijedi

$$q_{vrt3} = v_3 \cdot A_3$$

- površina poprečnog presjeka cijevi

$$A_3 = \frac{d_3^2 \cdot \pi}{4} = \frac{q_{vrt3}}{v_3} = \frac{0,0000268}{0,7} = 0,0000383 \text{ m}^2$$

- unutarnji promjer cjevovoda

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot A_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0000383}{\pi}} = 0,00698 \text{ m} = 0,698 \text{ cm} = 6,98 \text{ mm}$$

Odabrana standardna dimenzija cjevovoda je: Cu 10x1mm [10]

Cjevovod glikolne smjese:

- volumenski protok:

$$q_{vg} = v_g \cdot A$$

- površina poprečnog presjeka cijevi:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{q_{v_g}}{v_g} = \frac{0,000361}{2} = 0,0001805 \text{ m}^2$$

$v_g = 1,5 \div 2 \text{ m/s}$ preporučena brzina strujanja glikolne smjese

-unutarnji promjer cjevovoda:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0001805}{\pi}} = 0,01516 \text{ m} = 1,516 \text{ cm} = 15,16 \text{ mm}$$

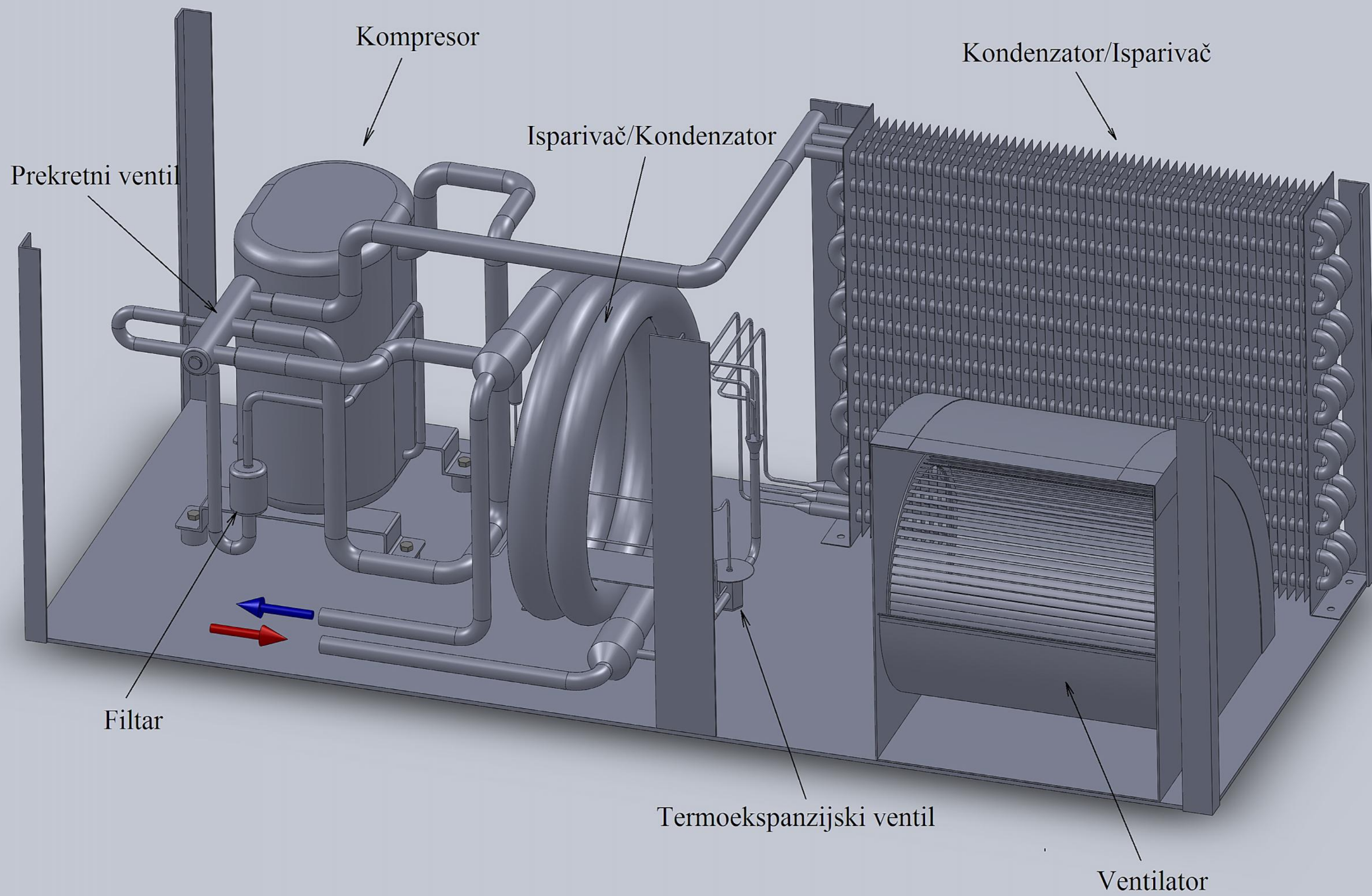
Odabrana standardna dimenzija cjevovoda je: Cu 18x1mm [10]

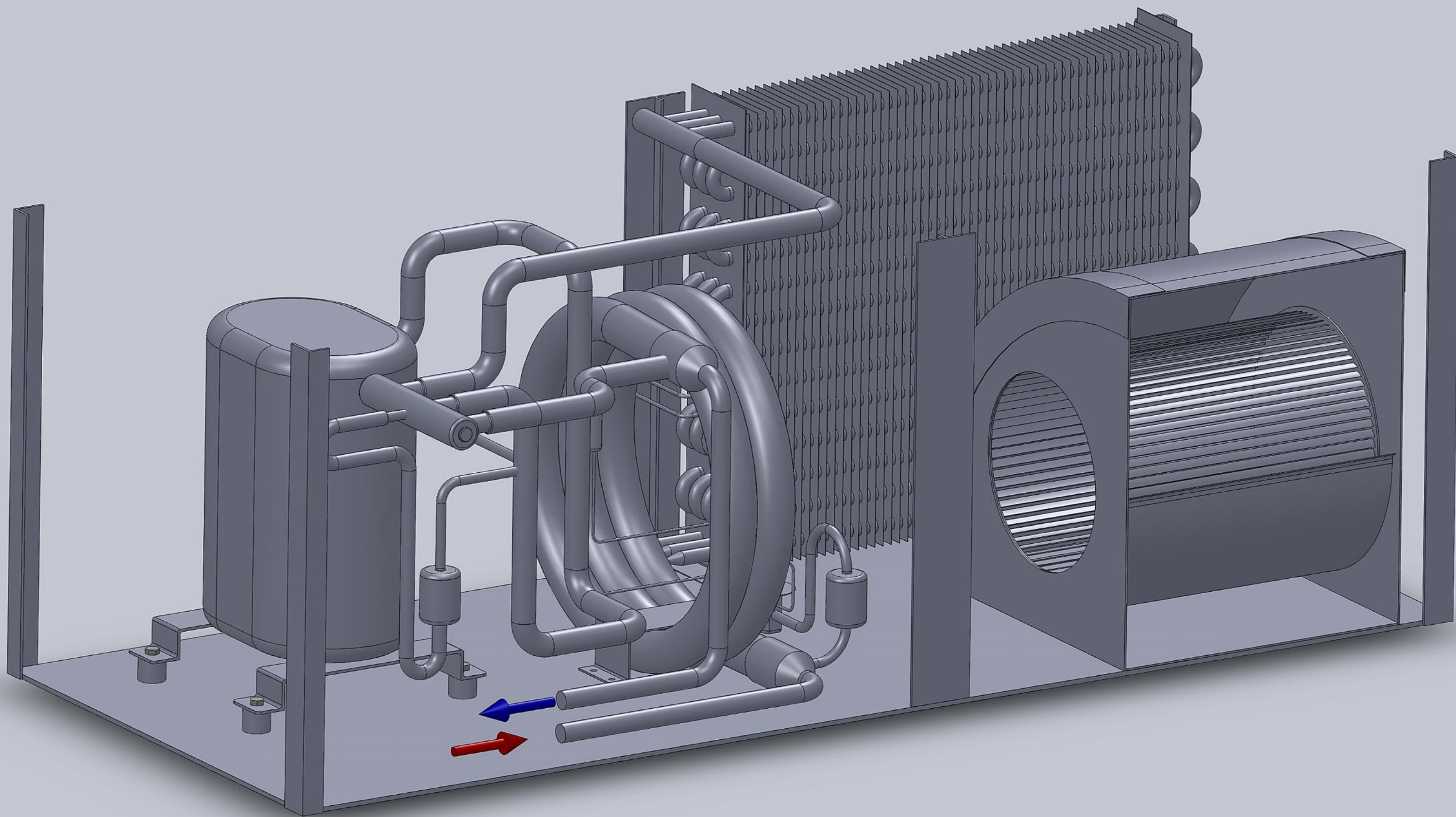
5. ZAKLJUČAK:

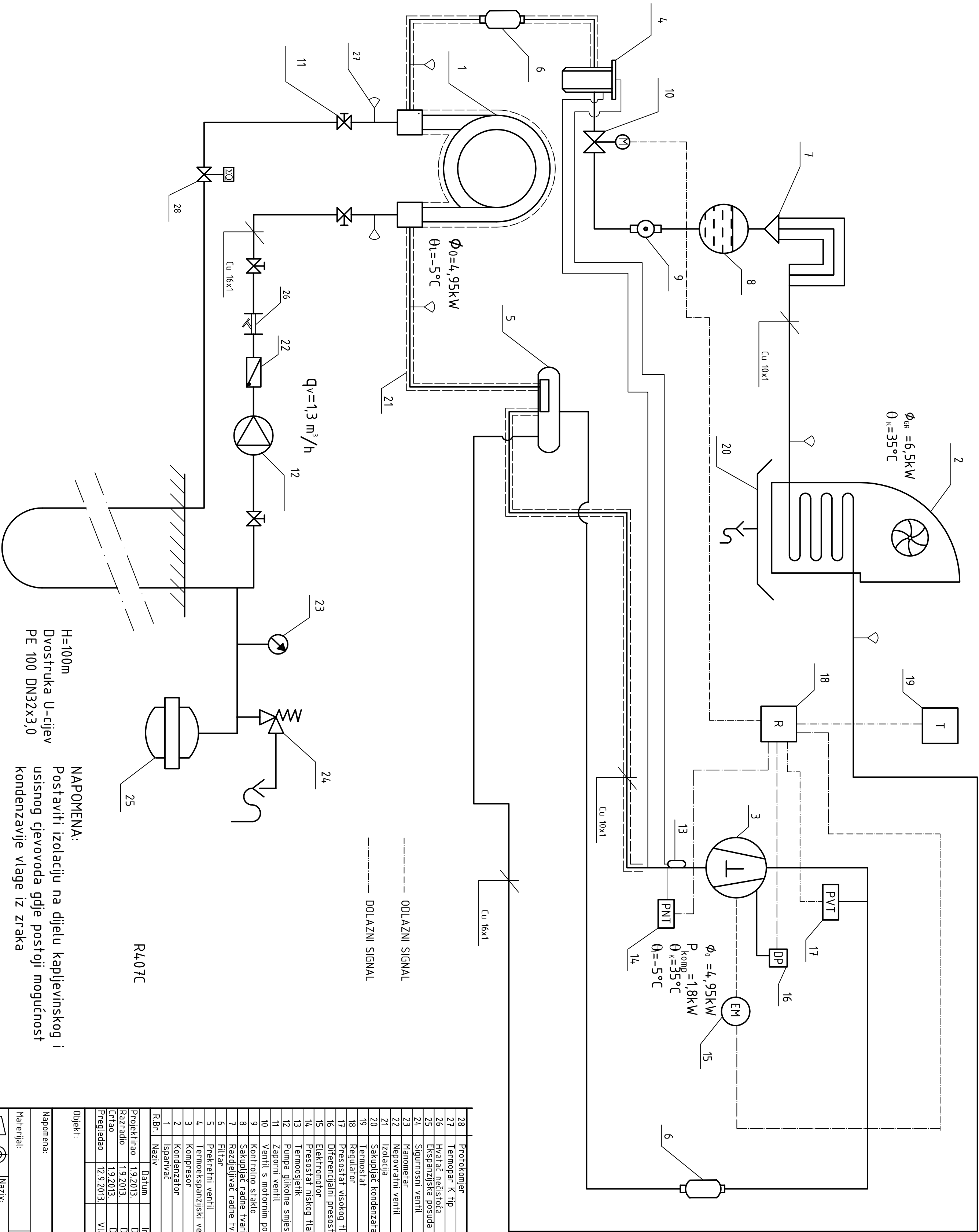
Ispitna dizalica topline voda – zrak, instalirana u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, puštena je u kontinuirani rad. Tokom deset dana rada konstantno su bili mjereni i bilježeni radni parametri. Jedan od tih parametara bilo je i praćenje temperature tla duž bušotine. Naša pretpostavka je bila da će tokom duljeg rada doći do smrzavanja tla oko bušotine i to najprije na najvećoj dubini. Pokazalo se da tokom našeg ispitivanja, pri zadanim radnim parametrima, neće doći do smrzavanja tla. Temperaturni osjetnici duž bušotine bilježili su pozitivne vrijednosti temperatura tla koje se daljnjim radom ne bi skoro mijenjali, eventualno tek na četvrtoj decimali. Ako bi željeli da do smrzavanja tla ipak dođe, trebali bi mijenjati radne parametre. Jedan od njih je povećanje željene temperature grijanog prostora, što za sobom povlači veći učin grijanja, odnosno učin kondenzatora. Tim povećanjem doći će do povećanja učina isparivača. Uspostavit će se veći toplinski tok na isparivaču, odnosno bušotinskom izmjenjivaču topline. Promjenom tih parametara, treba ponovno pristupiti ispitnom radu dizalice topline i pratiti temperaturu tla duž bušotine.

6. LITERATURA:

- [1] A. Galović, Termodinamika 1, Zagreb, 2008.
- [2] T. Ćurko, Hlađenje i dizalice topline, Radni udžbenik, Zagreb, 2010.
- [3] I. Balen, Grijanje, Zagreb, 2008.
- [4] www.eko-puls.hr
- [5] M. Grozdek, Tehnoekonomska analiza primjene dizalica topline, Zagreb, 2011.
- [6] D. Hrastović, Ekonomska analiza dizalica topline
- [7] www.servis-perkovic.hr
- [8] [www.eihp.hr/hrvatski/pdf/zakoni/2010_03_24_NN_36_2010_Pravilnik%20o%20energetsko
m%20certificiranju%20zgrada.pdf](http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/zakoni/2010_03_24_NN_36_2010_Pravilnik%20o%20energetsko%20certificiranju%20zgrada.pdf)
- [9] T. Ćurko, S. Mudrinić, Radne tvari u tehničari hlađenja – R407C, Zagreb, 2000.
- [10] B. Kraut, Strojarski priručnik, Zagreb, 1976.
- [11] V. Soldo, M. Ruševljan, T. Ćurko, Ispitna geotermalna dizalica topline sa sondom dubine 100 metara, Zagreb, 2009.







NAPOMENA:
Postaviti izolaciju na dijelu kapljevinskog i usisnog cjevovoda gdje postoji mogućnost kondenzacije vlage iz zraka

H=100m
Dvostruka U-cijev
PE 100 DN32x3,0

R407C

ODLAZNI SIGNAL
DOLAZNI SIGNAL

28	Protokomjer	"Termometal" ELBI
27	Termopar K tip	
26	Hvaćać nečistoća	
25	Ekspanzijska posuda	
24	Signurnosni ventil	
23	Manometar	
22	Nepovratni ventil	
21	Izolacija	AF/Armaflex AF-1-010
20	Sakupljač kondenzata	
19	Termosustav	
18	Regulator	"Dantoss" KP Presostat
17	Presostat visokog tlaka	"Dantoss" RT Dif. Pres.
16	Diferencijalni presostat	"Dantoss" KP Presostat
15	Elektromotor	
14	Presostat niskog tlaka	"Dantoss" RT Dif. Pres.
13	Termosustav	
12	Pumpa glikolne smjese	
11	Zaporni ventil	"Dantoss" RAV DN 10(8)
10	Ventil s motorim pogonom	
9	Kontrolno staklo	
8	Sakupljač radne tvari	
7	Razdjeljivač radne tvari	
6	Filter	
5	Prekretni ventil	
4	Termoekspanzijski ventil s vanjskim izjednačenjem tlaka	
3	Kompresor	
2	Kondenzator	
1	Isparni	
R.Br. Naziv		
Ime i prezime		
Potpis		
Datum		
Projektirao		
Razradio		
Crtao		
Pregledao		
Objekt broj:		
R. N. broj:		
PROCESNO-ENERGETSKI		
SMJER		
Materijal:		
Masa:		
ZAVRŠNI RAD		
Naziv:		
SHEMA SPAJANJA I AUTOMATSKJE REGULACIJE		
Mjerilo originala		
Crtež broj:		
Lisťova:		
Lisť:		

